

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Protikoroze ochrana modulových staveb
pro náročná korozní prostředí**

***Corrosion Protection Modular Buildings for
Demanding Corrosive Environments***

Student:

Bc. Jan Horák

Vedoucí diplomové práce:

Ing. René Siostrzonek, Ph.D

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Jan Horák

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Specializace:

20 Strojírenská technologie

Téma:

Protikorozní ochrana modulových staveb pro náročná korozní prostředí
Corrosion Protection Modular Buildings for Demanding Corrosive
Environments

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte problematiku koroze.
2. Prostudujte problematiku předúpravy povrchu a organických povlaků.
3. Prostudujte problematiku protikorozní ochrany modulových staveb.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Proveďte experimentální práce a zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000. ISBN 80-7078-953-0.

PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I. Dot.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-7078-235-8.

ČSN EN ISO 12944: *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Praha: Český normalizační institut, 1998, 199, 2008.

ČSN EN ISO 8501-3: *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stupeň přípravy svarů, hran a ostatních ploch s povrchovými vadami*. Praha: Český normalizační institut, 2008.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. René Siostrzonek, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě:
15.5.2017

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, że Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

15.5.2017
V Ostravě:


.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Horák

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Domašov 472, 790 01 Bělá pod Pradědem

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HORÁK, J. *Protikorozní ochrana modulových staveb pro náročná korozní prostředí: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2017, 94 s. Vedoucí práce: Ing. René Siostrzonek, Ph.D

Diplomová práce se zabývá hodnocením nátěrových systémů na ocelových konstrukcích. Teoreticky zahrnuje principy vzniku atmosférické koroze, na co odpovídá systematickým popisem předúpravy povrchu a ošetřením nátěrovými povlaky. Práce zmiňuje konkrétní popis aktuálního zhotovení nátěrového systému, kde posouzením bylo vyvozeno oponující předúpravy podle normativních předpisů. Na zkušebních vzorcích je posouzena vhodnost kotevního profilu, čistota povrchu a povrchové napětí. Z provedených zkoušek vyplývají nedostatky současné předúpravy. Dále jsou ověřeny vlastnosti nátěrového systému spočívající v měření tloušťek a určení odtrhových hodnot.

ANNOTATION DIPLOMA THESIS

HORÁK, J. *Corrosion Protection Modular Buildings for Demanding Corrosive Environments: diploma thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2017, 94 p. Supervisor: Ing. René Siostrzonek, Ph.D

This diploma thesis deals with evaluation of painting systems on steel structures. Theoretically, it includes the principles of atmospheric corrosion, which corresponds to a systematic description of surface pretreatment and treatment with painting coatings. The work mentions a concrete description of the actual painting system construction, where the assessment was made against the pre-treatment according to normative regulations. The suitability of the anchor profile, surface cleanliness and surface tension are assessed on test samples. The examinations carried out show the shortcomings of the current pretreatment. Furthermore, the basic properties of the coating system are measured, namely the thickness measurement and the determination of the tear-off values.

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

| Značka / Symbol | Význam |
|------------------------|--|
| airless | Bezvzduchová technologie stříkání |
| C3 | Střední korozní podmínky |
| CO ₂ | Oxid uhličitý |
| ČSN | Česká státní norma |
| EN | Evropská norma |
| H ₂ | Vodík |
| ISO | Mezinárodní norma |
| jäkl | Uzavřený čtyřstranný dutý profil |
| N ₂ | Dusík |
| NDFT | Jmenovitá tloušťka suchého nátěrového povlaku [μm] |
| NH ₃ | Amoniak |
| O ₂ | Kyslík |
| OPL | Pásovina |
| pH | Stupnice vyjadřující zásaditost nebo kyselost [-] |
| PL | Plech |
| PÚ | Povrchová úprava |
| Ra | Aritmetická úchylka profilu [μm] |
| RAL 7040 | Standardizovaný odstín okenní šedé barvy dle vzorníku |
| Re | Mez kluzu materiálu [MPa] |
| Rm | Mez pevnosti materiálu [MPa] |
| Rz | Největší výška profilu [μm] |
| SO ₂ | Oxid siřičitý |
| VOC | Těkavá organické látky obsažené v nátěrové hmotě [g/l] |
| VZV | Vysokozdvíhací vozík |

OBSAH

| | |
|--|----|
| SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ..... | 6 |
| OBSAH..... | 7 |
| ÚVOD..... | 9 |
| I. TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1 KOROZE | 10 |
| 1.1 Mechanismus koroze | 10 |
| 1.1.1 Koroze chemická | 10 |
| 1.1.2 Koroze elektrochemická | 11 |
| 1.1.3 Ostatní typy koroze | 11 |
| 1.2 Atmosférická koroze..... | 12 |
| 1.2.1 Korozní agresivita atmosféry..... | 14 |
| 1.2.2 Mapy korozní agresivity | 16 |
| 2 PŘEDÚPRAVA POVRCHU..... | 18 |
| 2.1 Čistota povrchu | 19 |
| 2.1.1 Stupeň přípravy povrchu..... | 19 |
| 2.1.2 Postup vizuálního hodnocení povrchu..... | 20 |
| 2.1.3 Stupeň přípravy svarů a hran | 21 |
| 2.2 Způsoby přípravy povrchu..... | 22 |
| 2.2.1 Mechanické úpravy povrchu..... | 23 |
| 2.2.1.1 Otryskávání..... | 23 |
| 2.2.1.2 Omílání | 26 |
| 2.2.1.3 Broušení a leštění..... | 26 |
| 2.2.2 Chemické úpravy povrchu | 27 |
| 2.2.2.1 Odmašťování organickými rozpouštědly..... | 27 |
| 3 PROTIKOROZNÍ OCHRANA | 28 |
| 3.1 Ochrana nátěrovými systémy..... | 28 |
| 3.1.1 Návrh nátěrového systému..... | 29 |
| 3.1.1.1 Podmínky pro nanášení nátěrových hmot..... | 29 |
| 3.1.1.2 Životnost nátěrových systémů | 30 |
| 3.1.2 Složení nátěrových hmot | 31 |
| 3.1.2.1 Filmotvorné složky | 32 |
| 3.1.2.2 Těkavé organické látky | 32 |
| 3.1.2.3 Pigmenty | 33 |
| 3.1.2.4 Plnidla | 34 |
| 3.1.2.5 Aditiva | 34 |
| 3.1.3 Aplikace nátěrových hmot..... | 34 |
| 3.1.3.1 Aplikace stříkáním..... | 35 |
| 3.1.3.2 Aplikace štětcem..... | 36 |
| 3.1.3.3 Aplikace válečkem..... | 36 |
| 3.1.4 Sušení nátěrového povlaku | 37 |
| 4 POPIS MODULOVÝCH STAVEB | 38 |
| 4.1 Postup svařování rámové konstrukce | 41 |
| 4.1.1 Podlahový profil | 42 |
| 4.1.2 Podlaha..... | 42 |
| 4.1.3 Rohový sloupek | 42 |
| 4.1.4 Čelo..... | 42 |
| 4.1.5 Horní profil | 43 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.1.6 | Rám modulu..... | 43 |
| 4.2 | Postup kompletace modulu..... | 44 |
| II. | EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST | 45 |
| 5 | CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE..... | 45 |
| 6 | SOUČASNÁ POVRCHOVÁ ÚPRAVA OCELOVÉ KONSTRUKCE..... | 46 |
| 6.1 | Předúprava povrchu | 46 |
| 6.2 | Nanášení nátěrové hmoty..... | 48 |
| 6.3 | Kontrola nátěrového systému | 50 |
| 6.4 | Opravy nátěru | 50 |
| 7 | METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ..... | 51 |
| 8 | ZKUŠEBNÍ VZORKY | 52 |
| 8.1 | Materiál vzorků..... | 53 |
| 8.1.1 | Plech tloušťky 3 mm..... | 53 |
| 8.1.2 | Pásovina rozměru 50/5 mm | 53 |
| 8.2 | Příprava povrchu..... | 54 |
| 8.2.1 | Aktuální stav | 55 |
| 8.2.1.1 | Výchozí stav po dělení a svařování | 55 |
| 8.2.1.2 | Příprava povrchu před aplikací nátěru | 56 |
| 8.2.1.3 | Aplikace nátěrového systému | 57 |
| 8.2.2 | Navrhovaný stav | 59 |
| 8.2.2.1 | Otryskávání..... | 59 |
| 8.2.2.2 | Ofoukání a odmaštění otryskaného povrchu | 60 |
| 8.2.2.3 | Aplikace nátěrového systému | 61 |
| 9 | PROVEDENÍ A VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK | 62 |
| 9.1 | Měření drsnosti | 62 |
| 9.2 | Hodnocení povrchu optickým mikroskopem..... | 66 |
| 9.2.1 | Hodnocení povrchu zkušebních plechů | 66 |
| 9.2.2 | Hodnocení povrchu svařenců..... | 67 |
| 9.3 | Hodnocení stupně přípravy svarů a hran | 69 |
| 9.4 | Hodnocení zaprášení povrchu..... | 71 |
| 9.5 | Hodnocení povrchového napětí | 75 |
| 9.6 | Měření suché tloušťky nátěru | 77 |
| 9.7 | Hodnocení přilnavosti nátěru..... | 78 |
| 9.7.1 | Odtřhová zkouška přilnavosti | 78 |
| 9.7.2 | Zkouška přilnavosti křížovým řezem | 83 |
| | ZÁVĚR..... | 86 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 89 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 92 |
| | SEZNAM TABULEK | 93 |
| | SEZNAM GRAFŮ | 94 |

ÚVOD

Požadavky na povrchové úpravy jsou vnímány jako nedílná součást strojírenských technologií, proto musí být jejich provedení inovativní. Mezi hlavní směry rozvoje strojírenského průmyslu lze zařadit aspekty jako zvyšování jakosti, užité hodnoty, technické úrovně a spolehlivosti výrobků za splnění ekonomických a ekologických limitů na výrobu. Primárním účelem veškerých protikorozních úprav je omezování rozsahu, nebo úplné zamezení působení koroze pomocí povlaku, který povrch základního materiálu chrání.

Protikorozní ochranou jsou optimalizovány vlastnosti základního materiálu a současně se odpovídá na rostoucí nároky kvality. Proto je za optimální protikorozní ochranu považován systém s minimálními nároky na údržbu. Při nevyhovujícím provedení protikorozní ochrany je výrobek zbaven funkčnosti v kratším časovém intervalu, kde nelze opomenout, že díky změně svého vzhledu klesá tržní hodnota výrobku a stoupají náklady na následné opravy.

Použití organických povlaků na bázi nátěrových hmot je pro protikorozní ochranu nejčastěji využívaná technologie z důvodu nízké ceny, snadné aplikace a širokých možností využití. Tato metoda představuje zásadní způsob zhodnocení ocelového materiálu. Úvaha vyplývá z nespočetného počtu doposud vyprodukovaných automobilů, dopravních, výrobních, nebo obytných staveb apod., které jsou chráněny nátěrovým povlakem. Vlastnosti samotné nátěrové hmoty však nezajistí vždy bezpečnou ochranu před negativními složkami atmosféry.

Významnou odpovědí na jednotlivé aspekty je povrchové inženýrství. Přes neustálý rozvoj povrchových úprav koroze stále zůstává, neboť nové technické nároky vytvářejí nové možnosti pro její vznik. Aby následky koroze byly co nejmenší, je nutné dokonale využít všech poznatků z teorie i praxe protikorozní ochrany. Existuje široký sortiment nátěrových hmot, ale k vymezení všech možností vzniku koroze musí být navrhnut komplexní postup věnující se předúpravám a následným aplikacím nátěrových systémů. Jistým vodítkem je přehled uspořádaný v technických normách. Nátěrové systémy zde lze snadno přiřadit k požadovaným životnostem povlaků a na ně působícím korozním podmínkám.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOROZE

Korozi lze popsat jako interakci kovu a prostředí vedoucí k postupnému rozrušování až znehodnocování struktury materiálu chemickými, či fyzikálně-chemickými ději. Degradace postupně probíhá od povrchu směrem do hloubky. V práci se budu zajímat především o atmosférickou korozi na neušlechtilém ocelovém materiálu, ale samozřejmě je i korodování vlivem vody a půdy. Hutnicky vyrobené kovy z rud mají snahu navracet se zpět do stavu chemické sloučeniny a pod vlivem oxidů korodují. Její průběh může být na povrchu rovnoměrný, i značně nerovnoměrný. Oblast působení koroze lze najít v atmosféře, půdě, vodě i plynech. Koroze mimo jiné probíhá také například u plastů, keramických, sklovitých, silikátových, nebo betonových materiálů apod. [1]

Odlišnou skupinou jsou ušlechtilé kovy, u kterých nelze najít znatelnou snahu slučovat se s chemickými prvky okolního prostředí. Patří zde kovy jako zlato, platina a částečně stříbro, které se v přírodě udržují neomezeně dlouhou dobu v ryzím stavu. Další odlišnou skupinou jsou korozivzdorné oceli, které mají schopnost povrchové pasivace. U nerezových ocelí se korozivzdornosti dosahuje vhodnou složkou legur, především minimálním 12% množstvím chromu v tuhém roztoku alfa, ale i niklem, manganem, molybdenem, či mědí. [1]

1.1 Mechanismus koroze

1.1.1 Koroze chemická

Jde o korozní proces, kdy je základní materiál vystaven chemickému působení bez ovlivnění elektrickým nábojem. Vnější prostředí může být vzduch, plyny a neelektrolyty. V plynném médiu jde o reakci kyslíku, sirných par, nebo halogenů s kovem. Koroze v oxidačních plynech jako jsou O_2 , CO_2 , SO_2 je například oxidace kovů, nebo vysokoteplotní koroze způsobující oduhličení oceli. Oxidace se nedá označit čistě za nechtěnou, protože častokrát znamená vytvoření tenké dobře přilnuté vrstvy znamenající pro materiál ochrannou vrstvu bránící dalšímu rozrušování. Pórovité a špatně přilnuté oxidické produkty, které z povrchu odpadávají, materiál nechrání. [1] [2] [3]

Koroze v redukčních plynech jako jsou H_2 , NH_3 , N_2 způsobuje vodíkovou křehkost, nebo oduhličení oceli vodíkem za vysokých teplot. Chemické korozní působení v neelektrolytech vzniká v látkách zkapalněného O_2 , N_2 , nevodivých kyselinách, alkoholech, nebo ropných produktech. Zde se odehrává atomární výměna v molekule mezi chemickou látkou a kovovým materiálem. [3]

1.1.2 Koroze elektrochemická

Vznik koroze je zde zapříčiněn vodivým elektrolytem obklopujícím materiál, nebo více kovů s rozdílným elektrickým potenciálem. Prakticky lze tento jev označit jako rozpouštění kovu v elektrolytu za vzniku korozního galvanického, koncentračního, nebo teplotního článku. Elektrolyty jsou tvořeny kapalnými roztoky kyselin, zásad a solí rozpuštěných ve vodě. Materiál tvořící anodu koroduje a pro vznik koroze platí, že elektrony vytvořené anodickou reakcí musí být spotřebovány katodickou reakcí. Katodu tvoří druhý kov umístěný v elektrolytu, nebo samotný roztok depolarizující anodu, což je například koroze v prokysličené vodě. [1] [3]

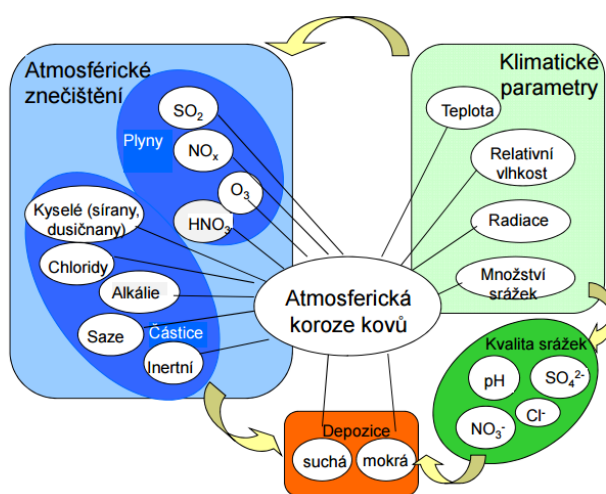
Galvanický článek je tvořen dvěma různými kovy ponořenými nebo omočenými elektrolytem a příkladem mohou být šroubové nebo nýtové spoje. Galvanický článek vzniká i při různě opracovaném povrchu ve stejném prostředí. Koncentrační články vznikají u potrubí uloženého v zemi. Potrubí zde tvoří vodič. Vlhká půda chudá na O_2 tvoří korodující anodu a suchá půda bohatá na O_2 je nekorodující katoda. Částečně lze tento jev odstranit pískovým ložem, které zajistí rovnoměrnější provzdušnění. Teplotní článek vzniká v oblasti nerovnoměrného rozložení teploty vlivem tepelného toku. Tento jev byl vyzorován na parogenerátorech, nebo tepelných kondenzátorech. [3]

1.1.3 Ostatní typy koroze

Zde se řadí principy koroze, které nejsou ovlivněny chemickými, nebo elektrochemickými jevy. Do této oblasti se počítá biologická koroze, kde je degradace základního materiálu způsobená biologickými mikroorganismy. Dalším typem odlišné koroze je kavitace, kde dochází k postupnému poklesu a vyrovnání tlaku. Tímto jevem vznikají a zanikají bubliny, které v blízkosti stěny tvoří mechanické rázy a postupně způsobují narušení struktury. [3]

1.2 Atmosférická koroze

Atmosférická koroze je založena na elektrochemickém mechanismu. Tento druh koroze je nejrozšířenější a způsobuje zhruba 80% materiálové ztráty. Systém se skládá z chráněného kovového materiálu, korozních produktů na něm ulpělých a vlivů okolní atmosféry. Působením atmosféry vzniká na povrchu materiálu velmi tenká a těžko postřehnutelná vrstva vody o tloušťce 50 – 150 μm . Vrstva je nasycena rozpustnými složkami znečištění atmosféry a tvoří tak elektrolyt. Vlivem toho je postupně korozně napaden kovový materiál a současně degraduje nátěrový povlak. Faktory způsobující atmosférickou korozi jsou vyobrazeny na následujícím obrázku 1. [4]



Obrázek 1: Faktory atmosférické koroze [5]

Korozní rychlost stoupá vlivem relativní vlhkosti, přítomnosti kondenzace, zvyšující se teploty a znečištění atmosféry. Tyto parametry v různých částech světa závisí na převažujícím podnebí. Pokud jsou kovové povrchy zcela čisté a hladké, tak nedochází v čisté atmosféře k výraznému pokrývání vodním filmem. Je-li povrch kovu nerovnoměrný, či pokrytý prachem a nečistotami, tvoří se na něm vodní film už při nízké relativní vlhkosti 60 %. Vysokého korozního napadení je pak dosaženo při relativní vlhkosti přesahující 80 %. Teplota podmíněná pro vznik atmosférické koroze musí být vyšší než 0 °C, protože při nižší teplotě elektrolyt zamrzá. Ve skutečnosti ocelové materiály korodují při relativní vlhkosti překračující 50 %, protože povrch je současně kontaminován chloridy, sazemi nebo prachovými částicemi, které jsou hygroskopické. Korozi současně napomáhají rozpustné složky atmosféry jako oxid siřičitý, oxid uhelnatý, amoniak, kyselina chlorovodíková či aerosoly. [4] [6]

Znečištěná atmosféra obsahuje pevné částice ve formě uhlíku, sazí, písku, oxidů a solí, které ulpívají na povrchu chráněného materiálu. Většina těchto složek atmosféry přitahuje vzdušnou vlhkost a další korozní plyny. Soli způsobují vznik vodivé lázně a společně například s uhlíkovými částicemi tvoří galvanické články. Pískové a další prachové částice působí jako abrazivo a vlivem povětrnosti snižují tloušťku nátěrové vrstvy. Nejznačnější známou kombinací těchto dvou faktorů jsou stavby umístěné v blízkosti silnic. [4] [6]

Nejvýznamnější znečišťující látkou atmosféry je oxid siřičitý SO_2 vznikající ze spalování nerostných surovin jako je ropa, zemní plyn a uhlí. Hlavním podílem na jeho produkci je lidská činnost. Především teplárny, elektrárny a další zařízení používající nízko kvalitní oleje a uhlí s vysokým obsahem síry jsou značnými strůjci znečištění. Přes řadu nesporných negativních vlivů na zdraví a životní prostředí je i značným strůjcem koroze. Tato látka v ovzduší oxiduje se vzdušným kyslíkem a za přítomnosti vody tvoří málo koncentrovanou kyselinu sírovou způsobující spad agresivních kyselých dešťů. Kyselina sírová je značně agresivní na kovové materiály bez vhodného povlaku. [4]

Děšť má na korozní namáhání chráněného povrchu různý účinek. Občasný silný déšť je prospěšný, protože opláchne znečištěný povrch. Celkový efekt však závisí na stupni znečištění ovzduší a tak je vytrvalý déšť ve znečištěné atmosféře značně nepříznivý. Korozi ovlivňuje i uložení konstrukce, kde jsou pod přístřešky vlivy značně redukovány. Ve vnitřním prostoru je redukován vliv znečištění atmosférou, ale rychlost koroze může být i tak vysoká vlivem špatného odvětrávání způsobující vysokou relativní vlhkost a následnou kondenzaci. [4] [6]

Podstatným parametrem korozního chování popisujícím klimatické podmínky je doba ovlhčení. Jde o časový údaj, kdy je vlhkost atmosféry nadkritická za teplot kapalného vodního filmu. V našich podmínkách odpovídajících teplému mírnému klimatu jde o dobu 2500 – 4200 hod./rok, což se blíží zhruba polovině celkové doby expozice. Ovlhčení povrchu je způsobeno relativní vlhkostí a kondenzací. Kondenzace vzniká vlivem rozdílných teplot povrchu materiálu a okolního prostředí. Pro její vznik platí setrvání teploty na bodu, nebo pod rosným bodem. Setrvání řady dní na rosném bodě, nebo pod má za následek značné korozní namáhání. [4] [6]

1.2.1 Korozní agresivita atmosféry

Stupeň korozní agresivity je základním údajem pro výběr materiálů a systém ochrany pro atmosférické prostředí. Základním předpokladem je, že při vyšší korozivitě prostředí je potřebné důkladnější připravení povrchu, vyšší tloušťky nátěrového filmu a také striktní dodržení intervalů mezi nátěry. Pro klasifikaci agresivity vnějšího prostředí jsou v normě ČSN ISO 9223 stanoveny pro jednotlivé korozní stupně materiálové úbytky oceli v porovnání se zinkovým povlakem. V této normě je určeno 6 stupňů korozní agresivity, kde je 5. stupeň rozdělen na vlivy průmyslové a přímořské. Současně jsou zde popsána typická prostředí vystavení korozním vlivům a postup pro hodnocení korozní agresivity. [6] [7]

Na rozměrných konstrukcích a stavbách může být korozní agresivita v různých částech výrazně odlišná. Vnitřní duté prostory, části mostu nad vodní hladinou, konstrukčně podmíněné nedostatečně provětrávané prostory, ostříkovaná zábradlí silničním provozem, či oblasti vetknutí do betonového kotvení jsou výrazně namáhaná místa, kde podceněním faktorů dojde ke zkrácení životnosti povrchové ochrany a konstrukčního prvku. Významně se projevuje i orientace jednotlivých ploch vzhledem ke směru působení větru, slunečního záření, dešťových srážek apod. [8]

Hodnocení agresivity koroze prostředí nebere v úvahu konkrétní chemické, mechanické či teplotní vlivy, které budou na chráněný povrch působit, ale specifikace normy mohou být vhodnými vodítky pro nátěrový systém. Norma ČSN ISO 9223 před revizí uváděla postup odvození korozní agresivity na základě environmentálních faktorů, jako je doba ovlhčení povrchu, koncentrace SO_2 a salinita. Dle rovnic znehodnocování bylo možné vypočítat přibližné údaje. Tento údaj je v novém vydání normy brán jako informativní, protože byl zatížen velkou nepřesností v důsledku změn ročních období. Agresivita jednotlivých atmosfér se může měnit, zejména v zimě a období dešťů, změnou teploty a vlhkosti. Nejpresněji lze korozní úbytky konstrukčních materiálů posoudit pouze atmosférickými zkouškami v reálných prostředích za kontinuálního sledování parametrů prostředí. [5] [7]

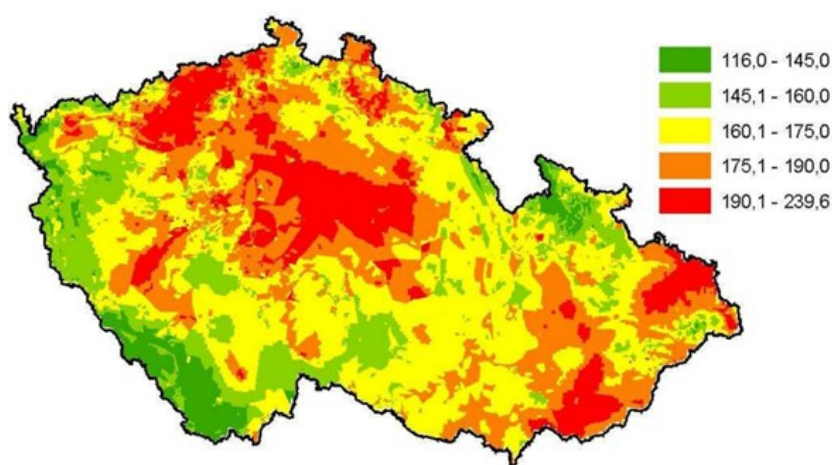
V následující tabulce 1 je uveden přehled normativních korozních prostředí s popisem typického místa působiště a daným tloušťkovým úbytkem materiálu pro ocel a zinek.

Tabulka 1: Přehled tloušťkových korozních úbytků dle kategorií za roční expozici [6] [7]

| Stupeň korozní agresivity | Příklad typického venkovního prostředí | Příklad typického vnitřního prostředí | Korozní úbytek tloušťky materiálu | |
|-----------------------------------|---|--|-----------------------------------|----------------|
| | | | Ocel [μm/rok] | Zinek [μm/rok] |
| C1 Velmi nízká | – | Vytápěné budovy s čistou atmosférou (kanceláře, školy, obchody, hotely) | méně než 1,3 | méně než 0,1 |
| C2 Nízká | Venkovské prostředí s nízkou úrovní znečištění atmosféry | Nevytápěné budovy, kde dochází ke kondenzaci (sklady, sportovní haly) | 1,3 až 25 | 0,1 až 0,7 |
| C3 Střední | Městské průmyslové atmosféry s mírným znečištěním SO ₂ a přímořské prostředí s nízkou salinitou | Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší (výrobní potravin, pivovary, mlékárny) | 25 až 50 | 0,7 až 2,1 |
| C4 Vysoká | Průmyslové prostředí a přímořské prostředí s nízkou salinitou | Chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží | 50 až 80 | 2,1 až 4,2 |
| C5-I Velmi vysoká (průmyslová) | Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou | Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší | 80 až 200 | 4,2 až 8,4 |
| C5-M Velmi vysoká (přimořská) | Přimořské prostředí s vysokou salinitou | Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší | 80 až 200 | 4,2 až 8,4 |
| CX Extrémní | Subtropické nebo tropické oblasti s velmi vysokou dobou ovlhčení, atmosférické prostředí s velmi vysokým znečištěním SO ₂ (nad 250 μg/m ³), nebo zahrnujícím i intenzivní vliv chloridů, např. velmi průmyslové oblasti, pobřežní a přímořské oblasti, s občasným postřikem solnou mlhou | Prostředí s téměř trvalou kondenzací, dlouhodobým působením vysoké vlhkosti, nebo s vysokou úrovní znečištění z výrobního procesu (neprovětrávané přístřešky ve vlhkých tropických oblastech s průnikem vnějšího znečištění včetně aerosolů, chloridů a korozně stimulujících látek) | 200 až 700 | 8,4 až 25 |

1.2.2 Mapy korozní agresivity

Mapy korozních rychlostí a korozních tříd pro uhlíkovou ocel jsou důležitým odhadem pro posouzení následného poškození základního materiálu a ochranného povlaku za roční expozici. Díky mapám je odborné veřejnosti známo úskalí povrchové úpravy připravované výstavby či obnovy nátěru v konkrétní lokalitě. Z těchto kritérií lze vyvodit účinná opatření prodlužující protikorozní ochranu. Modelování korozní zátěže obsahuje funkce klimatických dat, znečištění ovzduší a aplikace posypových solí v okolí silnic a dálnic. Aktuální mapy korozních úbytků a korozní agresivity nepostihují mikroklimatické vlivy a vlivy vyplývající z konstrukčního řešení objektů. [8]



Obrázek 2: Korozní rychlost uhlíkové oceli za rok 2001 [$\text{g}\cdot\text{m}^2/\text{rok}$] [5]

Nejjednodušším principem je exponování vzorků v síti stanic dostatečně husté pro vývoj mapy. Druhým případem je mapa odvozená z jednotlivých lokálních environmentálních údajů jako je teplota, relativní vlhkost, koncentrace SO_2 , depozice chloridů a dalších složek atmosféry. Tyto údaje jsou vneseny do rovnic odvozených z evropských i celosvětových výpočetních modelů. Jednotlivé modely jsou značně odlišné, podle toho v jaké době a v jakém měřítku jsou realizovány. Rovnice znehodnocení koroze uvedené v normě ČSN ISO 9223 zahrnují pouze parametry jako je teplota, relativní vlhkost a vliv chloridů. Později odvozené programy dále zahrnují množství a kyselost srážek, či další možné znečišťovatele ovzduší. Mapování je prováděno dle manuálu obsahujícího aplikaci rovnic znehodnocení dle dlouholetých korozních zkoušek v síti stanic v Evropě i v celém světě. [8]

Obecně lze postup tvorby map na základě rovnic znehodnocení popsat v krocích:

- výběr vhodné rovnice znehodnocení a její verifikace,
- volba měřítka pro tvorbu mapy na základě dostupností vstupních údajů,
- zpracování základních environmentálních údajů do map vstupních parametrů,
- výpočet korozních úbytků – roční a/nebo dlouhodobé hodnoty,
- stanovení korozní agresivity na základě vypočtených ročních hodnot. [8]

Mapy existují ve vyhotovení pro uhlíkovou a nízkolegovanou ocel se zvýšenou korozní odolností, zinek, měď, bronz a hliník. Dle ročních korozních úbytků lze snadno predikovat i dlouhodobé korozní úbytky materiálu a povlaku. V současnosti je údaj o ročních úbytcích přesnější než kategorizace stupňů korozní agresivity. Ke snadnému určení korozní agresivity lze na internetovém portálu věnující se dané problematice provést registraci a ihned jsou k dispozici nejaktuálnější data o korozi na jednotlivých materiálech. [8]

2 PŘEDÚPRAVA POVRCHU

Prvořadým cílem přípravy povrchu je zajištění dostatečné soudružnosti podkladního povrchu a nátěrového systému odstraněním znečišťujících činitelů bezprostředně před nanesením nátěru. Častokrát se mohou povrchy kovů zdát pouhým pohledem čisté, ale z mikroskopického měřítka je téměř pokaždé zjištěno znečištění. Aby bylo dosaženo přijatelného stupně čistoty pro následnou povrchovou úpravu, je stanoven standard jeho hodnocení. Existuje široké spektrum stupňů příprav i povrchového stavu konstrukce, ale z důvodu cíle mé práce zde budu uvádět pouze nikdy nechráněný ocelový povrch. Důležitým činitelem, při výběru vhodného způsobu přípravy povrchu, je technologicky dosažitelný stupeň přípravy s požadovanou čistotou a drsností, ale i se spojenými náklady, který bude vhodný pro následnou aplikaci nátěrového systému. [1] [9] [10]

Činiteli způsobující znečištění povrchu jsou:

- přítomnost okujů a rzi,
- profil povrchu,
- přítomnost prachových částic, solí, mastnot a olejů, [9]
- produkty rozstříku v okolí a strusky pokrývající povrch svaru.

Pro hodnocení přípravy povrchu ocelového materiálu jsou vyhotoveny následující normy, které se dále člení na jednotlivé části:

- ČSN EN ISO 8501: Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu,
- ČSN EN ISO 8502: Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu,
- ČSN EN ISO 8503: Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových povrchů,
- ČSN EN ISO 8504: Metody přípravy povrchu. [9]

Stejně tak je v přípravě povrchu procesem ručního, či mechanizovaného čištění před nátěrem věnována část v normě ČSN EN ISO 12944-4. Norma zmiňuje, že výsledný vzhled upravovaného ocelového povrchu značně závisí na původním stavu. Čištěný povrch bude mít takové vlastnosti, jaká se použijí technologická zařízení, ale i v jakém stavu zarezavění se materiál nacházel. [10]

2.1 Čistota povrchu

Norma ČSN EN ISO 8501 se zabývá přípravou výchozích ocelových povrchů válcovaných za tepla před nanesením nátěrových hmot a jejich následnou vizuální kontrolou pro stanovení přípustnosti. Pokud chceme, aby nátěrový systém zajistil co nejdélhodobější ochranu ocelové konstrukce, musí tomu odpovídat především kvalita očištění. [9]

Norma obsahuje 3 části, kde jsou pro mojí práci účelné pouze první a třetí:

- Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků,
- Část 3: Stupně přípravy svarů, hran a ostatních ploch s povrchovými vadami.

2.1.1 Stupeň přípravy povrchu

Společně se stupněm zarezavění povrchu je klasifikována metoda přípravy povrchu. Vždy se jedná o označení příslušnými písmeny pro metodu a následuje požadovaný rozsah pro dosažení stupně čistoty. Jde o stupeň očištění od okují, rzi, předchozích nátěrů, ale i cizích látek jako jsou soli rozpuštěné ve vodě, produktů svařování, tryskání apod. Slovní popis s definicí 4 stupňů zarezavění neopracovaného povrchu je uveden v tabulce 2. Definice málo přilnavé okuje, rzi nebo nátěru odpovídá možnosti odstranění nadzvednutím tupou špachtlí. Definice stupňů přípravy povrchu je uvedena v tabulce 3. [9]

Tabulka 2: Definice stupňů zarezavění [9]

| Stupeň zarezavění | Reprezentativní příklad | Charakteristika povrchu |
|-------------------|---|--|
| A |  | Povrch oceli je z velké části pokryt přilnavou vrstvou okují, je téměř bez rzi. |
| B |  | Na povrchu oceli se začala tvořit rez a z povrchu se začaly odlupovat okuje. |
| C |  | Povrch oceli, ze kterého odkorodovaly okuje ne ze kterého je lze oškrábat, a který vykazuje mírnou korozi viditelnou prostým okem. |
| D |  | Povrch oceli, ze kterého odkorodovaly okuje, a který vykazuje celkovou rovnoměrnou důlkovou korozi viditelnou prostým okem. |

Tabulka 3: Standardy stupňů přípravy pro celkovou přípravu povrchu [10]

| Stupeň přípravy | Metoda přípravy | Základní znaky povrchu | Rozsah použití |
|---------------------|----------------------------------|---|--|
| Sa 1 | Otryskávání | Jsou odstraněny špatně přilnavé okuje, rez, vrstvy nátěrů a cizí látky. | Příprava povrchu (nenatřené ocelové povrchy a natřené, jsou-li nátěry odstraněny do stanoveného stupně přípravy) |
| Sa 2 | | Je odstraněna většina okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbytky nečistot musí být pevně přilnavé. | |
| Sa 2 ^{1/2} | | Jsou odstraněny okuje, rez, nátěry a cizí látky. Všechny zbylé stopy nečistot musí být pouze stíny ve formě skvrn, nebo pásů. | |
| Sa 3 | | Okuje, rez, nátěry a cizí látky jsou odstraněny. Povrch musí mít jednotný vzhled kovu. | |
| St 2 | Ruční nebo mechanizované čištění | Jsou odstraněny nepřilnavé okuje, rez, vrstvy nátěrů a cizí látky. | |
| St 3 | | Jsou odstraněny nepřilnavé okuje, rez, vrstvy nátěrů a cizí látky. Povrch však musí být upraven důkladněji než u St 2. Povrch vykazovat jednotný kovový odstín shodný s podkladem. | |
| Fl | Čištění plamenem | Jsou odstraněny okuje, rez, nátěry a cizí látky. Všechny zbytky se mohou projevovat pouze jako změna barevného odstínu povrchu. (nutno povrch následně očistit strojním kartáčováním) | Stanovení dle předchozího speciálního vyhodnocení |
| Be | Moření v kyselině | Jsou kompletně odstraněny okuje, rez, zbytky nátěrů. Nátěrové hmoty musí být odstraněny před mořením v kyselině vhodnými prostředky. | Před žárovým zinkováním ponorem |

2.1.2 Postup vizuálního hodnocení povrchu

Postup se zakládá na prostém prohlédnutí povrchu okem na dobře rozptýleném denním, nebo umělém světle. Následně se z 28 členné fotografické přílohy normy ČSN EN ISO 8501-1 vybere ekvivalentní obrázková příloha. Pro výběr stupně zarezavění platí nejhorší kritérium hodnocení a pro stupeň přípravy povrchu se zaznamená hodnota stupně nejbližší odpovídajícího skutečně upravenému povrchu. Vizuální hodnocení ovlivňuje technologie a abrazivum otryskávání, výchozí stav povrchu s různým korozním napadením, barva oceli, nepravidelnosti povrchu, stopy po obrábění apod. [9]

2.1.3 Stupeň přípravy svarů a hran

Norma ČSN EN ISO 8501-3 specifikuje tři stupně potřebné pro úpravu svarových spojů, hran a ostatních míst s povrchovými necelistvostmi před lakováním. Klasifikuje vhodnost provedení ocelové konstrukce pro následnou aplikaci nátěrové hmoty do určitých korozních podmínek. Tabulka 1 této normy detailně specifikuje přijatelnost povrchových vad vztažených k jednotlivým stupňům přípravy. Tímto způsobem cíleně upozorňuje na následné chování ochranných povlaků. [11]

Tabulka 4: Stupně přípravy ocelových povrchů s viditelnými vadami vhodné pro nanesení nátěru a dalších produktů [11]

| Stupeň přípravy | Charakteristika | Stupeň korozní agresivity |
|-----------------|---|---------------------------|
| P1 | Lehká příprava - před nanášením nátěrů je požadována pouze minimální příprava povrchu | C1 a C2 |
| P2 | Důkladná příprava - většina defektů musí být opravena | C3 a C4 |
| P3 | Velmi důkladná příprava - na povrchu se nevyskytují patrné defekty | C5-I, C5-M a CX |

Konkrétní úroveň významu viditelných vad by měla být v součinnosti s povrchovou úpravou předem odsouhlasena. Případné úpravy povrchu a odstraňování defektů nesmí narušit integritu povrchu jako je např. přehřátí, nebo poškrábání při vybrušování vad. Na témže povrchu mohou být pro různé necelistvosti vyžadovány různé stupně přípravy povrchu jako např. P2 a P3, ale doporučuje se předepsat vyšší stupeň. [11]

Běžným standardem je, že stupeň přípravy povrchu určí zpracovatel specifikace protikorozní ochrany na základě znalosti následujících příslušných dokumentů a faktů:

- korozní prostředí včetně speciálních případů v místě užití stavby,
- technické podmínky, smluvní specifikace, příručky pro praxi apod.,
- vlastnosti nátěrových hmot,
- dostupnost technologických postupů a zařízení,
- požadavky na bezpečnost práce a ochranu životního prostředí,
- požadavky na uspokojivou ekonomiku výroby v souladu s cenou projektu. [12]

V souladu se specifikací protikorozi ochrany může být užití stupně přípravy povrchu jednou vyhovující a jindy nevyhovující. Například povrch se stupněm přípravy P2 bude pro dočasně umístěnou provizorní ocelovou konstrukci neekonomicky důkladně upravený, pro krytou skladovou halu optimální, ale pro konstrukci s náročným povlakovým systémem do těžkého korozního prostředí nebo pro fasádní prvky s vysokými požadavky na vzhled kvalitativně zcela nepřijatelný. Kvalitou je tedy to, co je předepsáno ve specifikaci, což je závazné pro všechny účastníky obchodního řetězce. [12]

2.2 Způsoby přípravy povrchu

Pro odstranění na povrchu se vyskytujících zbytků prachových úsad, mastnot, okují a produktů koroze je odvozeno několik technologických operací pro dosažení požadovaného stupně čistoty povrchu. Z důvodu existence širokého spektra předúprav v práci zmiňuji pouze předúpravy povrchu používané v systému výstavby řešené ocelové konstrukce. [1]

Úpravy, kterými je povrch těchto nečistot zproštěn, se dělí dle způsobu navázání nečistoty na povrch následovně:

- mechanicky vázané nečistoty odstranitelné odmašťováním,
- chemicky vázané nečistoty odstranitelné mechanickým čištěním, nebo mořením. [1]

Vodítkem pro zvolení vhodné metody čištění povrchu je dosažitelný stupeň čistoty a profil povrchu. Příprava povrchu by se měla provádět již od stupně zarezavění A. Nejvyšší požadovaný stupeň je oprávněn v případě prodloužení intervalů údržeb. Stupeň čistoty je přímo úměrný ekonomickým ukazatelům čištění, a proto by se měl pro jednotlivé účely a typy nátěrů předem volit. Pokud zvolená metoda čištění nevyhoví parametrům čistoty, musí se daná operace opakovat, až bude vyhovující. [13]

Náklady na následné předúpravy povrchu lze snížit vhodným skladováním s omezením vlivů klimatických podmínek. Pro předúpravu povrchu platí provádění prací oproštěných od srážek a možnosti kondenzace. Proto by měla být teplota materiálu vyšší nejméně o 3 °C než je teplota rosného bodu okolního vzduchu. Pokud je potřebné provádění prací v nepříznivých podmínkách, musí se práce provádět v zákrytu od vlivů klimatu. [13]

Obecnými principy výběru metod mechanických příprav ocelových podkladů před nanesením nátěrových ploch se zabývá norma ČSN EN ISO 8504 a obsahuje následující 3 části:

- Část 1: Obecné zásady,
- Část 2: Otryskávání,
- Část 3: Ruční a mechanizované čištění. [13]

2.2.1 Mechanické úpravy povrchu

Účelem mechanických úprav je:

- čištění povrchu materiálu od okují a produktů koroze,
- vytvoření vhodného kotevního podkladu pro povlak,
- částečné zlepšení mechanických vlastností,
- zlepšení úhlednosti. [1]

2.2.1.1 Otryskávání

Otryskávání lze popsat jako způsob vrhání soustředěného proudu tryskacího prostředku na opracovávaný povrch vysokou kinetickou energií. Účelem je očistit kovový materiál od povrchové vrstvy koroze, okují, zbytků původních nátěrů apod. Výhody lze najít ve zvýšení povrchových mechanických vlastností materiálu a při využití vhodného abraziva a režimu také získání potřebné geometrie pro bezpečné zakotvení ochranného nátěru. [1] [14]

Kromě morfologie povrchu lze operací docílit i dokonalého očištění. Stupeň čistoty ovlivňují stopy po dopadu abrazivního prostředku. Proto jsou důležitým parametrem velikost, tvar a tvrdost prostředku, jeho kinetická energie, úhel a dráha dopadu. Při použití kulatého abraziva jsou povrchové nečistoty zatlačovány do základního materiálu, a proto je vhodné pro vstupní očištění. Při použití ostrohranného, tvrdého abraziva je dosaženo lepší čistoty povrchu, ale je zvýšen materiálový úběr vlivem zasekávání částic do povrchu. [1]

Před zahájením tryskání plechů a profilů se musí z povrchu materiálu odstranit silné vrstvy rzi. Taktéž je nutno odstranit viditelné oleje, mastnoty i nečistoty. Po otryskávání se povrch musí očistit od povrchových nečistot a v nejbližší možné době chránit. [1]

Následující tabulka 5 uvádí přehled označování, tvarového popisu a konkrétního prostředku pro otryskávání. Tabulka 6 rozčleňuje vybrané metody tryskání abrazivem dle technologie, principu, oblasti použití, a dosahovaného stupně čistoty.

Tabulka 5: Symbolika označování základních tryskacích materiálů [14]

| Označení | Symbol | Tvar částic | Reprezentativní prostředky |
|-----------|--------|--|---|
| Broky | S | Kulovitý, bez ostrých hran a lomených ploch | Nízkouhliková litá ocel, staurolit |
| Drť | G | Hranatý, ostrohranný s lomenou plochou | Vysokouhliková litá ocel (i v podobě broků), tvrzená šedá litina, garnet, strusky (vysokopecní, měděná, niklová), tavený oxid hlinitý |
| Válcovité | C | Ostrohranný, sekány na pravý úhel svírající s osou drátu | Sekaný drát |

Tabulka 6: Přehled vybraných technologií otryskávání [14]

| Metoda | Technologie | Popis | Oblast použití | Účinnost |
|--------|--------------------------|---|--|--|
| Suchá | Odstředivá | Tryskací prostředek je v uzavřeném systému vrhán rovnoměrně z rotujících kol, nebo rotorů na povrch | Mechanizované průběžné čištění na přístupných a rozměrově odpovídajících profilech | Zajištění stupně přípravy Sa 3 na všech stupních zarezavění |
| | Stlačeným vzduchem | Abrazivum je strháváno proudem tlakového vzduchu a vrháno na povrch | Čištění dílů všech velikostí v provozech, uzavřených prostorech, či kabinách | Zajištění stupně přípravy Sa 3 na všech stupních zarezavění |
| | Vakuová nebo odsávací | Princip stejný jako tryskání stlačeným vzduchem, ale zde je těsně zakrytována tryska zajišťující odebrání již použitého abraziva a nečistot | Místní čištění, kde není přijatelná produkce prachových částic do okolního prostředí pouze na pravidelných tvarech | Zajištění stupně přípravy Sa 2 1/2 (delší dobou Sa 3) do stupně zarezavění C |
| Mokrá | Vlhká | Princip stejný jako tryskání stlačeným vzduchem, s přidavkem malého množství vody k omezení prašnosti | Čištění dílů všech velikostí v případech s vyloučením velkého množství prašnosti a vody | Zajištění stupně přípravy Sa 3 na všech stupních zarezavění |
| | Mokrý stlačeným vzduchem | Princip stejný jako tryskání stlačeným vzduchem, ale zde produkuje proud současně i voda | Čištění dílů všech velikostí zejména s důlkovou korozí v případech s vyloučením velkého množství prašnosti | Zajištění stupně přípravy Sa 3 na všech stupních zarezavění a současném chemickém znečištění |

Hodnocením drsnosti dle referenčních prvků se zabývá norma ČSN EN ISO 8503 zahrnující 5 částí:

- Část 1: Specifikace a definice pro hodnocení otryskaných povrchů s pomocí ISO komparátorů profilu povrchu,
- Část 2: Hodnocení profilu povrchu otryskané oceli komparátorem,
- Část 3: Postup kalibrace ISO komparátorů profilu povrchu a stanovení profilu povrchu mikroskopem,
- Část 4: Postup kalibrace ISO komparátorů profilu povrchu a stanovení profilu povrchu profilometrem,
- Část 5: Určení profilu povrchu páskou metodou repliky. [15]

Povrch složený z nepravidelností, výstupků či prohlubní nelze specificky charakterizovat. Jejich nahodilá povaha způsobuje nemožnost poskytnutí přesné hodnoty drsnosti. V případě prohlubní způsobených brokovým abrazivem, nebo výstupků vlivem ostrohranných částic vzniká značná odlišnost. Proto je povrch hodnocen podle 3 stupňů komparátorů, zvlášť vytvořených pro brokové a ostrohranné abrazivo. [15]

ISO komparátor tvoří rovinnou desku složenou ze 4 segmentů referenční drsnosti. Dělí se na skupinu porovnávacích komparátorů určených na hodnocení otryskávání ostrohranným prostředkem označovaným písmenem G a brokovým abrazivem S. Rozsahy hodnocení stupně drsnosti uvádí následující tabulka 7. [15]

Tabulka 7: Hodnocení stupně drsnosti [15]

| Stupeň drsnosti | Přiřazovací kritérium |
|-----------------|--|
| Jemný (G/S) | Drsnosti shodné s povrchem segmentu 1 a hrubší, ale nedosahující drsnosti segmentu 2 |
| Střední (G/S) | Drsnosti shodné s povrchem segmentu 2 a hrubší, ale nedosahující drsnosti segmentu 3 |
| Hrubý (G/S) | Drsnosti shodné s povrchem segmentu 3 a hrubší, ale nedosahující drsnosti segmentu 4 |

2.2.1.2 Omílání

Jde o technologii mechanické úpravy povrchu malých předmětů za předpokladu vzájemného odírání předmětů, omílajících těles, brusiva a kapaliny v otáčejícím se bubnu či zvonu. Metoda je vhodná v případě menších oblých předmětů poměrně nízké váhy. Větší předměty je potřebné upevnit k tělesu bubnu a omílat pouze abrazivem a kapalinou. Z hran jsou odstraňovány otřepy, produkty po pálení a svařování, z povrchu okuje, rez a celkově dostává povrch jinou strukturu, korozní odolnost a zpevnění. Omíláním je možné docílit leštěného povrchu. [1]

Výhodou omílání je díky mechanizaci odstranění ručního broušení, či leštění a možné snížení zmetkovitosti. Omílání způsobuje otupení hran, což znamená značně nerovnoměrný úběr z povrchu členitých výrobků. Výsledné parametry jsou ovlivněny dobou, průměrem a otáčkami bubnu, tvarem a velikostí součástí, druhem, frakcí a poměrem omílacích těles, druhem a množstvím omílací kapaliny. [1]

Používaná abraziva dle požadovaného povrchu jsou:

- přírodní nebo umělé kameny – žula, křemen, čedič, vápenec, umělý korund,
- kovová tělesa,
- organické látky,
- kožené a textilní odpady,
- piliny. [1]

2.2.1.3 Broušení a leštění

Broušením se připravují povrchy pro následné leštění. Leštěním lze upravovat jak povrch, tak i povlak. V obou případech jde o ruční a mechanizovanou metodu využívající stejný princip. Základním účelem je odstranění nerovností z povrchu materiálu za účelem dosažení vhodného kotevního povlaku nebo stupně lesku. [1]

K broušení se používají kotouče nebo pásy s nalepenými brusnými částicemi. Jejich rozdělení dle operace a zrnitosti je uvedeno v tabulce 8. K leštění se používají kotouče z plsti nebo látky, které nemají nalepené abrazivo. Leštící prostředek je nanášen na obvod kotoučů jako pasta. [1]

Tabulka 8: Zrnitosti brusných elementů dle jednotlivých operací [1]

| Operace | Zrnitost |
|---------------------|----------------------------|
| Hrubování | 24, 30, 36, 46, 60, 70, 80 |
| Hlazení | 100, 120, 150 |
| Jemné hlazení | 200, 240 |
| Předlešťování | 280, 320 |
| Jemné předlešťování | 400, 500, 600 |

2.2.2 Chemické úpravy povrchu

Tato úprava povrchu se provádí pomocí chemických činidel, kdy dojde k reakci s nečistotami na povrchu. Patří zde odmašťování, moření a elektrolytické leštění. Jednotlivými druhy lze dosáhnout rozdílného stupně přípravy povrchu, který je požadován dle následné povlakové úpravy. Nejlepšího stupně musí být dosaženo u galvanického povlaku, méně pak u nátěrových hmot. [1]

V práci se věnuji pouze okrajově odmašťování organickými rozpouštědly, ale běžně se provádí taky:

- v alkalických roztocích,
- elektrolytickým odmašťování,
- v neutrálních roztocích,
- emulzním odmašťováním,
- opalováním. [1]

2.2.2.1 Odmašťování organickými rozpouštědly

Čištění organickými rozpouštědly se předběžně používá na viditelné vrstvy olejů, tuků, maziv a dalších rozpustných nečistot. Čištění lze provádět ručním otíráním hadrem zejména na členitých místech, částečným, či úplným ponorem, nebo postřikem. Důležitým vodítkem pro volbu organického rozpouštědla je množství olejů v něm obsáhlých. Proto lze použít nejprve organické rozpouštědlo s obsahem olejů a následně dočistit povrch rozpouštědlem oprostěným od oleje. Potřebné složení je časově stálé, netoxické, nehořlavé a snadno regenerovatelné. [1]

3 PROTIKOROZNÍ OCHRANA

Díky povrchové úpravě jsou základnímu materiálu dodány korozivzdorné a estetické vlastnosti, které předurčují prodloužení životnosti vztažené k celkové ekonomice produkovaných výrobků. Chránění ocelového povrchu organickými látkami patří mezi nejčastější a ekonomicky nejvýhodnější způsob ukončení kovovýrobního řetězce. Četnost této povrchové úpravy se pohybuje okolo 80 %. Přes svoje výhody je technologie jedním z klíčových účastníků znečišťujících životní prostředí vlivem organických těkavých rozpouštědel. Rozpouštědla jsou složkou nátěru pouze dočasně z důvodů aplikace. [1] [2]

Organické povlaky jsou tvořeny nekovovou vrstvou z nátěrových a plastických hmot. Obecnou představou o nátěrových hmotách je to, že chrání základní materiál před vlhkostí a dalšími klimatickými vlivy. Přesto nejde o zcela nepropustný povrch, protože vytvořený nátěr obsahuje póry nebo na výčnělcích místa se slabou vrstvou. Následky této nekvality jsou proto zmírňovány antikorozními pigmenty a inhibitory. Ve svojí práci se zabývám pouze ochranou ocelového povrchu organickými povlaky v podobě nátěru. [1] [2]

3.1 Ochrana nátěrovými systémy

Pro návrhy antikorozní ochrany ocelových konstrukcí se všeobecně používá norma ČSN EN ISO 12944 obsahující 8 částí. Vztahuje se pouze k nátěrovým hmotám zasychajícím a vytvrzujícím v běžné atmosféře. Norma se dá označit za normativní základnu nátěrových protikorozních úprav ve formě řady pravidel, při jejichž nedodržení mohou nastat vážné problémy. [16]

- Část 1: Všeobecné zásady,
- Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí,
- Část 3: Navrhování,
- Část 4: Typy podkladů a jejich příprava,
- Část 5: Ochranné systémy,
- Část 6: Laboratorní zkušební metody,
- Část 7: Vykonání a inspekce prací povrchových úprav,
- Část 8: Správa specifikací pro nové a renovační nátěry. [16]

3.1.1 Návrh nátěrového systému

Volba antikorozního nátěru se dá označit za jistou predikci dopadu korozních podmínek. Důležité je zvážit faktory jako jsou vlhkost, teplota a teplotní gradienty, přítomnost složky UV záření, působení chemických látek, možnost mechanického poškození, apod. Nelze ani opomenout tvar konstrukce, který ovlivňuje náchylnost ke korozi. Především jde o dostupnost pro předúpravu a nanášení nátěru, ale i provedení hran a konstrukční řešení bránící vzniku znečišťujících úsad. Při výběru nátěrového systému je důležité určit podmínky působící na konstrukci. [16] [17]

Pro výběr vhodného nátěrového systému je prvotním kritériem chráněný materiál. Příprava povrchu, složení nátěrové hmoty, intervaly obnovy a celková tloušťka systému musí odpovídat chráněnému materiálu, protože existuje velký rozdíl mezi nelegovanou konstrukční ocelí, nerezovou ocelí, žárově zinkovanou ocelí, nebo např. hliníkem. [16]

K protikorozi ochraně je odvozeno mnoho nátěrových systémů, předurčujících dosažení parametru životnosti v oblasti expozice korozní agresivitou. Při výběru nátěrového systému pro kovové podklady vzhledem k vhodné bázi pojiva, tloušťky ochranného systému a doporučených počtů vrstev nátěrů se zpravidla vychází z tabulek přílohy A normy ČSN EN ISO 12944-5. Do doporučujícího přehledu jsou zařazeny kladně odzkoušené nátěrové systémy, ale tento výběr není vyčerpávající. Především z důvodu změn technologií i národních legislativ jsou neustále tvořeny nové systémy s prokazatelnými výsledky. [18]

3.1.1.1 Podmínky pro nanášení nátěrových hmot

Z důvodu zajištění požadované ochranné funkce nátěru, musí být neustále vyhodnocovány podmínky v místě jeho provádění. Pro nátěry zasychající v atmosférických podmínkách platí, že nejnižší a nejvyšší teplotní rozsah chráněného povrchu a okolního vzduchu musí odpovídat technickým podmínkám výrobce nátěrové hmoty. Nemá-li v technických podmínkách žádné ustanovení, musí být teplota povrchu podkladového kovu nejméně 3 °C nad rosným bodem. Měření, určující hodnotu rosného bodu, je nutno provádět dle momentálních povětrnostních podmínek. Tato měření zahrnují stanovení teploty povrchu a okolí i relativní vlhkost. Údaje je potřebné při každé změně klimatu a teploty archivovat např. formou provozního deníku lakovny. Dalším podmíněným pravidlem je zhotovování povlaků na suchý a čistý povrch. [5]

3.1.1.2 Životnost nátěrových systémů

Očekávanou životnost ochranného nátěrového systému lze definovat jako dobu, po jejímž uplynutí je nutné provést první údržbu nátěru. Tato doba je kratší než životnost konstrukce. Životnost není shodná se záruční dobou. Životnost je technický předpoklad, který umožňuje sestavit program údržby a obnovy. Záruční doba vztažená na nátěrový povlak je vždy předmětem právní části smlouvy zainteresovaných stran. Přesné pravidlo mezi těmito časovými údaji nelze určit. [16]

Nepřístupné části konstrukce vystavované koroznímu namáhání musí být povrchově chráněny po celou životnost tak, aby nebyla snížena nebo narušena stabilita stavby. Pokud to není možné, musí se užít jiného vhodného materiálu, vyměnitelných součástí či korozních přísad. Obecně platí přímá úměra mezi vynaloženými náklady na boj s korozi a dobou její ochranné účinnosti. Stanovení rozsahu znehodnocení nátěru musí být stanoveno dohodou zainteresovaných stran v souladu s normou ČSN EN ISO 4628 dle všech jejích částí. [16]

Tabulka 9: Životnost nátěrového systému [16]

| Rozmezí | Označení | Délka |
|---------|----------|-----------------|
| nízká | L | 2 – 5 let |
| střední | M | 5 – 15 let |
| vysoká | H | více než 15 let |

Životnost nátěrového systému je ovlivněna:

- typem nátěrového systému,
- podmínkami a úrovní nanášení nátěru,
- podmínkami expozice po nanesení nátěru,
- úrovní čistoty podkladního povrchu,
- stavem materiálu před úpravou,
- konstrukčním řešením a druhy spojení konstrukce. [18]

3.1.2 Složení nátěrových hmot

Pro potřebu odolnosti vůči klimatickým podmínkám musí nátěrové hmoty obsahovat vhodné antikorozní složení. Ty potom, podle jejich kombinace, na povrchu vytvářejí film požadovaných vlastností. Dle klimatické odolnosti rozeznáváme dvě základní skupiny určené nátěru, na venkovní a vnitřní. Podle svojí funkce lze nátěry rozdělit na základní a vrchní, ale ve speciálních případech mohou být i vyrovnávací nebo spojovací. [1]

Z hlediska ředění potřebného k aplikaci se nátěry dělí na:

- rozpouštědlové,
- vodou ředitelné,
- bezrozpouštědlové. [18]

Z hlediska způsobu zasychání a vytvrzování se dělí do dvou hlavních skupin:

- reverzibilní nátěry – povlak vznikne odpařením rozpouštědla bez dalších změn a proces je kdykoli vratný za použití původního rozpouštědla. Příkladnými pojivy zde jsou chlorkaučuk, kopolymery vinylchloridu a akrylátové polymery.
- ireverzibilní nátěry – povlak vznikne odpařením rozpouštědla (pokud je obsaženo), následuje chemická reakce nebo koalescence. Proces je nevratný. [18]

Ireverzibilní nátěry se dělí dále dle principu zasychání na:

- vzduchu zasychající – za přítomnosti kyslíku oxidačně vytvrzované po odpaření rozpouštědla. Typickými pojivy jsou alkydy, urethanalkydy a epoxiestery.
- vlhkostí zasychající – po odpaření rozpouštědla se nátěr chemicky vytvrzuje díky reakci se vzdušnou vlhkostí. Patří zde pojiva na bázi jednosložkových polyurethanů a jednosložkových či dvousložkových ethylsilikátů.
- vodou ředitelné – voda s obsaženými částicemi pojiva je odpařována a koalescencí dispergovaných částic v pojivu je tvořen film. Dispergovaná pojiva ve vodě jsou akrylátové a vinylové polymery a polyurethanové pryskyřice.

- chemicky vytvrzované nátěrové hmoty – označované jako dvousložkové, obsahují základní složku a vytvrzovací činidla, kde jejich smícháním vznikne směs s omezenou dobou zpracovatelnosti. Po odpaření rozpouštědel je nátěr vytvrzován chemickou reakcí základní složky a vytvrzovacího činidla. [18]

Chemicky vytvrzované nátěrové hmoty se dělí na další dvě důležité skupiny:

- dvousložkových epoxidových nátěrů – pojiva jsou tvořena polymery epoxidových, vinylepoxidových a epoxyakrylátových skupin. Tato skupina vlivem slunečního záření značně křídí. Vytvrzovací činidla jsou tvořena polyaminoaminy, nebo polyamidoamidy.
- dvousložkových polyurethanových nátěrů – kde pojivy jsou polymery s volnými hydroxylovými skupinami v zastoupení polyesterů, akrylátů, epoxidů, polyéterů apod. Vytvrzovací činidla jsou tvořena aromatickými, nebo alifatickými polyizokyanáty. První skupina označována PUR alifatická má vynikající dosahovanou stálost lesku a barevného odstínu. Druhá skupina označována PUR aromatická se vytvrzuje rychleji, ale lesk povrchu je rychle degradován. [18]

3.1.2.1 Filmotvorné složky

Jsou v nátěrové hmotě zastoupeny jako netěkavé pojivo. Jejich schopností je vytvořit tenkou souvislou vrstvu tvořící bariéru. Účelem je vázat dispergované částice směsi pigmentů a plniv v zaschnutém filmu. O pojivech pojednávalo předcházející rozdělení. [1]

3.1.2.2 Těkavé organické látky

Funkcí látek je rozpouštění pojiva a celková úprava viskozity nátěru vhodné k nanášení. Jde o látky přítomné v objemu nátěrové hmoty, které se během aplikace a zasychání povlaku odpařují. Těkavé organické látky jsou označovány zkratkou VOC a jejich objem je uváděn v g/l. VOC látky jsou zásadním znečišťovatelem atmosféry, a proto jsou výrobci povinni tyto složky nátěru redukovat. Prvním řešením je využívání stále častějších vysokosušinových rozpouštědlových, bezrozpouštědlových nebo vodou ředitelných nátěrových hmot. O výsledných kombinacích poživ a rozpouštědel pojednává následující tabulka 10. Druhotnou metodou redukce je pak využití filtrů pohlcujících VOC, nebo spaloven kde dochází k oxidaci VOC na kysličník uhličitý a vodu. [1] [18]

Tabulka 10: Obsah VOC látek v různých generických typech pojiv nátěrových hmot [18]

| Generický typ pojiva nátěrové hmoty | Typický rozsah obsahu VOC g/l | Dostupnost vodou ředitelné alternativy | Dostupnost vysokosušinové alternativy | Dostupnost bezrozpuštědlové alternativy |
|-------------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| Kopolymer polyvinylchloridu | > 500 | ANO | NE | NE |
| Chlorkaučuk | > 500 | NE | NE | NE |
| Akrylátová pryskyřice | > 500 | ANO | NE | NE |
| Alkydová pryskyřice | 330 až 500 | ANO | ANO | NE |
| Polyurethan (aromatický) | 0 až 500 | ANO | ANO | ANO |
| Polyurethan (alifatický) | 0 až 500 | ANO | ANO | ANO |
| Epoxid | 0 až 700 | ANO | ANO | ANO |
| Zinksilikát | 350 až 650 | ANO | ANO | NE |

3.1.2.3 Pigmenty

Jedná se o organické nebo anorganické jemné částice rozptýlené v pojivu. Předurčují nátěru barevný odstín, krycí schopnost, zvyšují jeho tepelnou a korozní odolnost, vzdor stárnutí a tvrdost. Skupiny pigmentů lze rozčlenit dle využití nátěrové hmoty na základní nebo vrchní. [1]

Základní nátěry obsahují převážně pigmenty inhibitorové funkce spočívající v pasivaci povrchu, regulaci pH, nebo tvorbě obranných látek. Pigmenty jako jsou suřík, zinková žluť, olovičitan vápenatý jsou z důvodu zachování zdraví a ochrany životního prostředí v základních nátěrech maximální mírou omezeny. [18]

- základní nátěry s vysokým obsahem zinku přesahujícím v netěkavé formě nátěru 80 % celkového hmotnostního složení,
 - ostatní základní nátěrové hmoty obsahující látky jako fosforečnan zinečnatý, nebo další antikorozní pigmenty a ty, ve kterých je obsah zinku nižší než 80 %.
- [1] [18]

Pro výrobu vrchních nátěrů se využívají neutrální pigmenty pro zlepšení fyzikálních vlastností a stimulující chemicky netečné pigmenty. Pro agresivní prostředí se využívá zejména málo reaktivních pigmentů jako je titanová běloba, kysličník chromitý, železité slidy aj. [1]

3.1.2.4 Plnidla

Jsou tvořena jemně rozemletými minerálními látkami, jako je těživec, mastek a křída. Tyto látky jsou nerozpustné v pojivech a upravují především technologické vlastnosti nátěrového povlaku. Jedná se především o zamezení smrštění nátěru po uschnutí či zamezení stékavosti apod. [1]

3.1.2.5 Aditiva

Složky nátěrových hmot v podobě sušidel, stabilizátorů, zvláčňovadel a emulgátorů. Účinnou složkou jsou kovová mýdla nebo jejich roztoky v organických rozpouštědlech. [1]

3.1.3 Aplikace nátěrových hmot

Řadí se mezi nejdůležitější faktory rozhodující o jakosti provedení a celkové životnosti nátěrového povlaku. U každého způsobu lze vyhodnotit řadu protikladů, ale důležitým vodítkem je především povaha nátěrové hmoty a natíraného povrchu. Pro svou práci jsem vytvořil pouze výběr používaných metod aplikace na svařovanou konstrukci. [1]

Pro maximální dosažitelnou kvalitu by měl být nátěr s co největší většinou vrstev zhotoven v dílenském prostředí. Následující tabulka 11 má za úkol zhodnotit protiklady nátěrů nanášených v dílnách a na stavbě. Lakování na stavbě bude silně ovlivněno povětrnostními podmínkami, značně ovlivňující očekávanou životnost. [18]

Tabulka 11: Zhodnocení nanášení nátěrů dílenským způsobem [18]

| Výhody | Nevýhody |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • kontrola nanášení, • regulování teploty, • regulování relativní vlhkosti, • snadné opravy nedostatků, • vyšší dosahované výkony, • regulace znečišťujících látek a odpadů. | <ul style="list-style-type: none"> • omezení velikostí prvků, • poškození při manipulaci, • překročení maximální doby přetíratelnosti, • riziko znečištění finální vrstvy. |

3.1.3.1 Aplikace stříkáním

Metodou je vždy dosahováno vytvoření rovnoměrného a souvislého povlaku. Nevýhodou jsou však ztráty rozstříkem a zaprášení okolí. Proto by mělo být standardem stříkání v kabinách, kde jsou rozprášené částice a VOC látky zachycovány filtry, a dále například upravovány spalovacími jednotkami. Aplikaci podmiňují parametry jako viskozita, tlak, typ trysky a její vzdálenost společně s úhlem od povrchu a teplota nátěrové hmoty. Pokud není technologie stříkání schopna vytvořit na hranách a nepřístupných místech dostatečnou tloušťku filmu, musí být tato místa natřena štětcem. [19]

Způsoby lze dle principu rozčlenit na:

- konvenční – pneumatické, nízkotlaké,
- bezvzduchové,
- elektrostatické. [19]

Nanášení tlakovým vzduchem je nejrozšířenější metodou s možností dosažení rovnoměrného nátěru s lesklým povrchem a je vhodnou metodou pro moderní rychleschnoucí nátěry. Díky své produktivitě je metoda vhodná na nátěr velkých ploch. Princip se zakládá na strhávání nátěrové hmoty v ústí stříkací pistole proudícím stlačeným vzduchem. Tímto je dosaženo energie na formování kužele s nátěrovou hmotou rozprostřenou do drobných kapiček. Tento kužel je následně usměrněn k pokrývanému povrchu. Omezením je dostatečný stupeň zředění, a tedy potřeba využití více rozpouštědla. Metoda má typické velké ztráty rozstříkem, protože proud vzduchu a kapiček nátěru je z části odražen od povrchu bez přilnutí. [1]

Bezvzduchové neboli airless stříkání je progresivní a stále častěji využívanou metodou nánosu nátěrových hmot. Princip je založen na výstupu nátěrové hmoty ze stříkací pistole pod tlakem 5 – 28 MPa. Rozdílem zde je natlakování samotného nátěru bez využití vzduchu, pomocí čehož je docíleno potřebné aplikační energie. Při dopadu nátěru nedochází k víření vzduchu. Zařízení je zkompletováno z vysokotlaké pumpy, zásobní tlakové nádoby a stříkací pistole. [1]

Bezvzduchovým stříkáním je dosahováno snížení rozstříku, a proto zhruba 30% úspory nátěrové hmoty. Výhodou je zejména možnost nástřiku do těsných spár a na ostré hrany, ale je také kvalitativně dosaženo i lepší struktury nátěrového povlaku. Mohou se využívat nátěry hustší konzistence, a proto lze omezit rozpouštědlové složky nátěru. Produktivita je ještě vyšší než u technologie nanášení pomocí tlakového vzduchu. [1]

Elektrostatické stříkání využívá fyzikálních závislostí vzájemné přitažlivosti částic opačného elektrického náboje. Nábojem nabitě částice nátěrové hmoty putují k opačně polarizovanému povrchu předmětu. Tím se usazují na chráněném povrchu a vytváří tak souvislou vrstvu nánosů. Obdobně jako u předchozích metod je nátěrová hmota rozptýlená proudem vzduchu ve stříkací pistoli, která je připojena na zdroj vysokého napětí. Zdrojem náboje je tzv. koronový výboj. Jeho vlivem se ionizují molekuly kyslíku obsažené ve vzduchu a vznikají záporné ionty nabíjející částice nátěrové hmoty rozptýlené ve vzduchu. Chráněný povrch tvoří záporně nabitou elektrodu. [1]

3.1.3.2 Aplikace štětcem

Jedná se o nejstarší metodu vyžadující řemeslnou zručnost a kvalitní štětce. Štětce lze vybrat z mnoha velikostních tříd dle aktuální aplikace. Natírání štětcem je vhodné zejména pro účely dotření koutů, hůře provedených svarů, hlav šroubů a nýtů a dalších špatně přístupných míst. [1] [19]

Předností této aplikace je rozpracování nátěrové hmoty beze ztrát, její rozetření a přilnutí do pórů v povrchu. Tímto se docílí vynikající soudružnosti s podkladovým materiálem. Nevýhodou je však značná pracnost odrážející se na nákladech a době aplikace. [1]

3.1.3.3 Aplikace válečkem

Pro danou metodu musí být speciálně určená nátěrová hmota. Rozměr a typ válečku musí odpovídat konkrétnímu využití. Pro aplikaci základních nátěrů je metoda nanášení válečkem značně nedostačující. Metoda je vhodná zejména k místním opravám před smontováním konstrukce a renovacím. [19]

3.1.4 Sušení nátěrového povlaku

Po nanesení nátěrové hmoty dochází k fyzikálním a chemickým změnám, díky kterým je dosaženo suchého nátěrového filmu. Součástí schnutí je odpařování těkavé složky a vznik zdravotně závadných exhalací. Těkavé složky jsou v nátěrové hmotě zastoupeny jako rozpouštědla a ředidla. [1]

Sušení nátěrových hmot lze rozčlenit na:

- zasychání na vzduchu při běžné teplotě kolem 20 °C,
- přisoušení při teplotě 40 – 60 °C,
- vypalování při teplotě 80 – 250 °C. [1]

V práci se účelně dle využití věnuji pouze kombinaci dvou prvních variant. Při schnutí za normální teploty jsou využívány fyzikální i chemické pochody a je jimi vytvrzována celá řada druhů nátěrových hmot. Pro vytvoření povlaku odpovídající kvality musí být dodrženy parametry atmosféry dané výrobcem nátěru. Optimální podmínky schnutí byly vysledovány při teplotě 18 – 25 °C a relativní vlhkosti do 75 %. Při nižší teplotě a vyšší vlhkosti je zasychání zpomalené. Schnutí je ovlivněno i přívodem čerstvého vzduchu a rozpouštědlovými látkami, které je dobré odsát a ekologicky likvidovat. [1]

K přisoušení se využívá komorových nebo průběžných sušáren s výhřevem vzduchu. Proudění potřebné k dostatečnému srovnání teplot a obklopení celého povrchu je vytvořeno pomocí ventilátorů vířících ohřátý vzduch. Prouděním se však dávají do pohybu nečistoty mající při zakotvení vliv na vzhled a kvalitu povlaku. Sušárna by měla být utěsněna před vniknutím prachových nečistot a nasávaný vzduch by měl být filtrován. [1]

4 POPIS MODULOVÝCH STAVEB

Modul je tvořen ocelovou konstrukcí, do které se v závodě umístí podlaha, strop, stěny a základní rozvody sítí. Každý modul představuje budoucí část objektu, kde jsou po převezení na místo určeny tyto části smontovány do finální stavby. Tato montáž proběhne dle půdorysného a podlažního rozmístění v krátkém časovém horizontu. Stavebnicový charakter umožňuje snadno měnit dispozici, kapacitu, umístění i účel podle požadavků. Modulovými stavbami lze vytvořit obytné, stavební, průmyslové, skladové a obchodní, administrativní, volnočasové i školské objekty apod. V této části popíšu zejména tvorbu svařence rámu, ale i jeho postup kompletace. O metodách povrchových úprav pak dále píším v experimentální části.

Portfolio modulových staveb je nabízeno formou pronájmu nebo prodeje. Forma pronájmu je realizována prostřednictvím skladových dep. Standardní moduly jsou ihned k odběru a mohou se dovybavit širokosáhlým příslušenstvím jímek, podest, schodišť, apod. Samozřejmostí je připojení na inženýrské sítě, či v případě potřeby lze sanitární modul postavit na podkladní svařenec jímky. Realizace objektu je po vybavení administrativy a zajištění podkladní stavby velmi rychlá. Takto tvořená výstavba je oproti konvenčním způsobům zhotovena o cca 50 % rychleji. Navíc zde není patrná prodleva vlivem špatných klimatických podmínek v souvislosti s ročním obdobím.



Obrázek 3: Realizace zázemí sportoviště v Jeseníku

Druhým případem je konkrétní zpracování dle požadavků zákazníka. V takovém případě je pro potřeby zákazníka uzpůsoben širokosáhlý sortiment modulů dle velikosti, typu použití i skladby stěn, podlah a izolací. Sortiment modulů lze rozdělit na obytné, sanitární, chodbové, schodišťové, skladové, technologické apod. S moduly souvisí širokosáhlé spektrum zakrytovacího příslušenství, stříšek nebo teras apod.



Obrázek 4: Výstavba mateřské školy v Poříčanech [20]

Stavby lze díky stavebnicovému charakteru jednoduchou formou dispozičně rozšiřovat, nebo navyšovat. Díky pevné ocelové konstrukci lze z modulů sestavit jak přízemní prostory, tak i poschod'ové stavby, kdy je jejich součástí realizace schodiště vnitřního, vnějšího jednoramenného s plošinou přišroubovanou k rámu modulu, nebo samonosného ve formě schodišťové věže s výstupní plošinou jako je na následujícím obrázku 5 součástí trojpodlažní sestavy modulů.



Obrázek 5: Administrativní zázemí jaderné elektrárny Mochovce [20]

Modulovou stavbou jdou řešit malé výrobní prostory, či různorodé technologické prostory pro kompresory, hasicí zařízení, filtrační a spalovací zařízení, strojovny apod. Zde je především důležité dosáhnout požadované nosnosti podlahy, kde lze dosáhnout parametru až 2 t/m^2 .



Obrázek 6: Technologické zázemí bioplynové stanice Pustějov [20]

Moduly obsahují kompletní rozvody vody, elektřiny a výměny vzduchu. Prakticky lze sanitární moduly vybavit stejně jako v bytové výstavbě. Pro snadnou manipulaci lze v podlaze vytvořit manipulační kapsy na vidlice, a tak lze s moduly manipulovat pomocí VZV. Tímto je zaručena velmi snadná přemístitelnost, která se využívá především u dočasných staveb s opakovaným použitím. Proto se moduly hojně využívají jako zázemí staveniště na mobilní kanceláře, sklady, ubytovny a sociální zařízení.



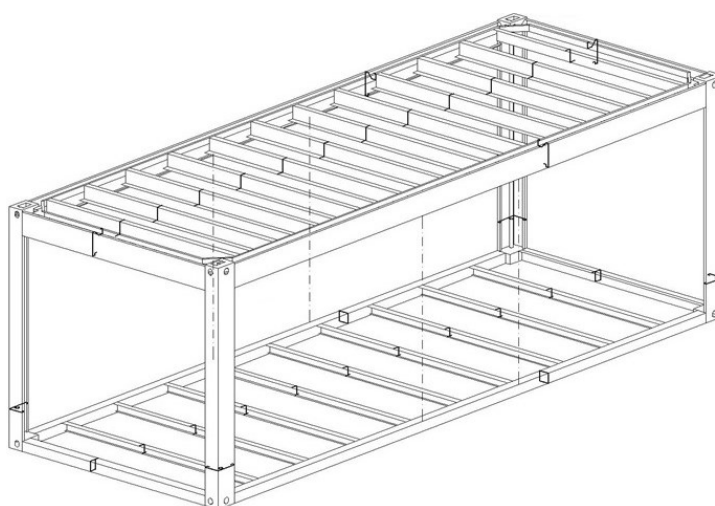
Obrázek 7: Zázemí staveniště společnosti Strabag [20]

4.1 Postup svařování rámové konstrukce

Výroba svařovaných rámových konstrukcí se většinou liší pouze rozměrovými parametry, kde se vychází z jednotlivých typových řad. Díky uzpůsobení typových řad lze efektivně přeměnit vstupní materiál na hotové celky. Jednotlivé dílčí svařované prvky tvořící konstrukci jsou uvedeny v následujících kapitolách. Jedná se o podsestavné svařence, kde při jejich kompletaci vznikne základní nosný rám. Každý rám má požadované rozměry dle potřebné vnitřní výšky, půdorysného rozměru i množství tepelné izolace. Typický rám a jeho schéma je uvedeno na následujících obrázcích 8 a 9.



Obrázek 8: Ocelová konstrukce rámu



Obrázek 9: Schéma ocelové konstrukce

4.1.1 Podlahový profil

Podlahové profily tvaru Z jsou spojnicí mezi dvěma podélnými jákly a tvoří tak podlahu. Profily jsou tvořeny L-profilem z plechu tloušťky 3 mm kolmo umístěným na střed pásoviny o rozměru 50×5 mm.

4.1.2 Podlaha

Podlaha je tvořena podlahovými profily proloženými s přesnou roztečí mezi dvěma podélnými jákly $120 \times 120 \times 5$ mm tvořící spodní boční profil. Podlahové profily jsou přivařeny zároveň s horní hranou jáklu a společně s L-profilem $20 \times 20 \times 3$ mm tvoří podkladní povrch pro podlahovou desku. Dle roztečí panelů se na podlahu přivaří držáky závitové tyče, které jsou zde za účelem spojení s horním profilem bočním. Do držáků se našroubují závitové tyče a pomocí nich je eliminován průhyb vlastní vahou, vahou podlahových desek, ale i napětími vzniklými při procesu svařování.

4.1.3 Rohový sloupek

Profil vnějších rohových sloupků je tvořen z vyděrovaného C-profilu, který je následně ohnut do pravého úhlu na rozměry stran 200×150 mm s délkou podle požadované výšky modulu. Prolisované otvory jsou zde za účelem možnosti jeřábové manipulace. Na profil rohového sloupku jsou navařeny desky s otvory na zajišťovací trny a následně jsou tvořeny svodové a odtokové krabičky. Horní krabička odvádí otvorem v rohovém plechu dešťovou vodu do pozinkované trubky. Spodní krabička je pouze odtoková a vyústí uje z ní pozinkovaná trubka.

4.1.4 Čelo

Čelo je tvořeno párem rohových sloupků pravého a levého provedení. Sloupky jsou dole propojeny jáklem $120 \times 60 \times 3$ mm. Nahoře je čelo spojeno ohraňným horním profilem se žlabem pro odtok vody vyústujícím pomocí kapes, přivařených ve výsledném svařenci do horní svodové krabičky rohového sloupku. Pohledové venkovní svary, včetně výronkové strany svarů na rohových sloupcích, jsou zabroušeny do roviny, zabrousí a zapilují se přechody svarů, tak aby nebyly po následném tmelení viditelná převýšení.

4.1.5 Horní profil

Horní profil boční ohraňený z plechu tvoří odtokový žlab, kde je voda sváděna přes kapsy do svodových trubek v rohových sloupcích. Tyto profily tvoří společně s podlahou nosnou spojnicí mezi dvěma čely. Horní profil boční je skládaný ze 2 ohraňených dílů z důvodu formátu plechu. Na profilu je přivařen horní držák závitové tyče. Spojnicový svar je z pohledové strany společně s výronky svarů na držácích závitových tyčí vybroušen do roviny, obdobně jako je tomu u čel.

4.1.6 Rám modulu

Výsledkem jednotlivých svařených součástí je rám modulu. Nachystané součásti jsou v polohovadle sestaveny, sestehovány, rozměřeny a zavařeny. Spojnicí mezi čelními a bočními profily včetně rohových sloupků jsou kapsy, pomocí kterých je voda odváděna do svodové krabíčky. Výplň mezi horními profily je tvořena střešními krovy ohnutými ve tvaru písmene Z. Tyto profily se přivaří zároveň s límcem horního profilu. Střešní profily zajišťují tuhost konstrukce, jsou nosníky pro uchycení stropu v interiéru a taky jsou podkladním roštem pro plechovou střešní krytinu. Obdobně jako je tomu u čel a horních profilů, jsou pohledové venkovní svary zabroušeny do roviny, přechody zapilovány a ocelová konstrukce je kompletně očištěna od rozstříku.

4.2 Postup kompletace modulu

Kompletace ocelové konstrukce je založena na dosažení stádia tvořící přepravitelný celek vhodný k sestavení modulového domu. Podlaha je tvořena nosným profilovaným plechem, na něm položenou izolací z minerální vaty, fólií tvořící parozábranu a podlahovou deskou dřevotřískového, nebo cementotřískového typu opatřenou podlahovou krytinou. Obdobně se vytvoří strop se skladbou ze spodu uchycených latí do stropních nosníků, parozábranou a nejčastěji laminovanými deskami tvořící interiér. Z vrchu se modul opatří minerální vlnou a vodotěsně se opláští střechou z pozinkovaného plechu.

Spodní a horní profil se spojí ocelovými tyčemi, kterými lze eliminovat průhyb podlahy a je zvýšena tuhost rámu. Do úchytů se mezi spodní a horní profil umístí panel tvořící stěnu. Tyto předem připravené panely, tvořené dřevěným rámem, zvenčí profilovaným plechem, tepelnou izolací a parozábranou jsou zakryty laminovanou deskou a tvoří stěny interiéru. Připravené panely již mají vyhotovené výřezy na okna a dveře. Postupně se modul vybaví okny, zárubněmi a dveřmi, rozvody elektřiny, topením, klimatizací, případně rozvody vody a odpadního potrubí. Provede se zakrytování, pospojení jednotlivých desek, případně vytmelení spár v rozích. Modul se vybaví posledními doplňky, jako jsou dveřní dorazy a venkovní žaluzie.

Pokud má být více modulů tvořena jedna místnost, nebo je zde jen průchozí otvor či interiérové dveře, tak se zde panely neusazují. V tom případě jsou všechny otvory zakrytovány fólií na přepravu, která se při kompletaci na místě u zákazníka odstraní.



Obrázek 10: Základní typ modulové jednotky

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této práce je ověření aktuálních předúprav povrchu vhodných pro dostatečnou protikorozi ochranu použitím nátěrových hmot. Dostatečnou protikorozi ochranou je myšleno odolání zvoleným korozním podmínkám a životnosti nátěrového systému. Z hledisek používaných předúprav povrchu v praxi, ale i samotným řešením a vyhodnocováním experimentů by mělo především vzniknout jisté doporučení vedoucí k postupné revizi technologického postupu předúpravy povrchu. Cílem tedy bude porovnat aktuální zhotovení nátěrového systému s navrhovaným řešením, kdy předúprava povrchu bude odpovídat normami stanoveným standardům. Důkladnější technologií předúprav povrchu s následnou aplikací nátěrových hmot, lze vyhovět vyšším korozním podmínkám atmosféry. Kritérium vyšší klasifikace atmosféry je samozřejmě podmíněně spjata s tloušťkou a složením nátěrového filmu.

Hodnotit zde proto budu dle normativních podmínek provedení aktuální předúpravy s následným nátěrovým systémem. Oponovat tomuto provedení budu navrhnutým systémem předúpravy výstupním otryskáváním povrchu před následnou aplikací stejné nátěrové hmoty. Jednotlivé vzorky plechů a svařenců jsou vyhotoveny v maximální míře srovnatelně tak, jak je povrchová úprava aplikována na ocelové konstrukce rámu v současnosti.

6 SOUČASNÁ POVRCHOVÁ ÚPRAVA OCELOVÉ KONSTRUKCE

Pro současnou antikorozi ochranu se využívá dvouvrstvého nátěrového systému. Nátěrový systém je určen pro vnější povrchovou úpravu pláště ocelového rámu. Na nastavený stupeň ochrany jsou tedy lakovány pohledové vnější části konstrukce vystavené klimatickým podmínkám. Zbytek ocelových ploch, které jsou zakryty montážními prvky, je lakován pouze základním nátěrem. Konstrukce je exponována standardně v korozním prostředí C3. Pokud se má modul vystavit expozici agresivnějších podmínek, je pro něj stanoveno proporcionálně jiné řešení PÚ.

Klasifikace C3 znamená, že stavby jsou vystaveny plnému působení atmosférických korozních vlivů v oblastech s mírným klimatem. Tyto atmosférické podmínky odpovídají specifikaci běžné atmosféry znečištěné průmyslovými zplodinami, běžné relativní vlhkosti vzduchu a teplotě okolí v rozmezí od -30 až +50 °C. Projektovaná životnost povrchové ochrany je minimálně 5 let s poskytnutím garance na 24 měsíců. Požadovaná tloušťka suchého povlaku (NDFT) je definována podle normy ČSN EN ISO 12944-5 na hodnotu 120 µm. [21]

6.1 Předúprava povrchu

Kvalita nátěrového systému vždy odpovídá proporcionálně kvalitě předúpravy povrchu. Proto platí, že veškeré části na ocelovém rámu nesmí být znečištěny produkty koroze. Nátěr je po lehkém přebroušení povrchu brusným papírem nanášen na profily ohraněné z termomechanicky válcované oceli pokryté přilnavou vrstvou okují s hladkým povrchem a na vstupně tryskané profily. V případě zasažení povrchu korozí musí být ocelový povrch tryskán na stupeň čistoty Sa 2^{1/2}, nebo musí být alespoň obroušen na stupeň čistoty St 3. Vstupní tryskání na stupeň čistoty Sa 2^{1/2} se standardně provádí na uzavřených i otevřených profilech, ale ne na profilovaném plechu. [21]

Pokud je povrch ohnutého profilu již ve značném stádiu zarezivění povrchu, tak je vstupně tryskán. K vstupnímu tryskání materiálu je používáno průběžné tryskácké zařízení 4 TP 700/650, které má 4 samostatná turbínová metací kola. Zařízení metá abrazivo ze 4 směrů a proto je vhodné na čtvercové a obdélníkové profily. Abrazivem je kulatý ocelový granulát S 280, což odpovídá zrnitosti 810 – 1000 µm.

Na svařence je před svařovacími úkony aplikována separační kapalina, která brání pevnému ulpívání rozstříku. Jedná se o bez silikonový olejový koncentrát nezpůsobující problémy se svařováním ani následnou povrchovou úpravu. [22]

Předúprava povrchu se provádí bezprostředně před aplikací základní barvy. Místa ocelového rámu s nastaveným nátěrovým systémem jsou zbavena rozstříku, produktů svařování a defektů na stupeň přípravy P2. Ostatní plochy v zákrytu na stupeň P1 dle normativních podmínek ČSN EN ISO 8501-3. Předúprava před lakováním se zahájí prvotním odmaštěním pomocí ředidla C 6000. Všechna broušená místa či místa s povrchovou vadou jsou tmelena pro dosažení hladkého povrchu bez převýšení a prohlubní dvousložkovým polyesterovým plnicím brousitelným tmelem. Předem určené spáry, které vlivem vztlínání vlhkosti začnou způsobovat výtok koroze, jsou tmeleny jednokomponentním tmelem na bázi polyuretanu. Tímto je nehrazen průběžný svar, který by nebyl možný z hlediska deformací.

Po technologicky nutné době pro vytvrzení brousitelného tmelu je celá ocelová konstrukce obroušena brusným kotoučem zrnitosti P80. Tmelená místa musí vykazovat hladký povrch s minimálně patrným přechodem na povrch základního materiálu. Následně je celá konstrukce zbavena prachu a produktů po broušení tmelu ofukem. Následuje opakované odmaštění.



Obrázek 11: Proces tmelení ocelové konstrukce

6.2 Nanášení nátěrové hmoty

Bezprostředně po oschnutí je na celý rám aplikován dvouvrstvý nátěrový systém pomocí ručního vysokotlakého stříkacího zařízení značky Wagner. Lakovna disponuje třemi oddělenými zařízeními pro současnou aplikaci základního nátěru v její hale a následnou dvojí oddělenou aplikací vrchního nátěru v lakovacím boxu. Vysokotlakým zařízením lze všeobecně dosáhnout dobré struktury povlaku s nátěrovou hmotou hustší konzistence. Díky hustší konzistenci je dosaženo vyšších tloušťek na hranách a v těsných koutech. Zároveň nátěr vykazuje nižší sklony ke stékání. Nižším poměrem ředění má vyšší objem sušiny a jsou tedy v nátěru sníženy okolí zatěžující VOC látky.



Obrázek 12: Pístové vzduchem poháněné vysokotlakové airless zařízení

Základní nátěr je tvořen akrylátovou barvou v tloušťce suchého filmu 60 μm . Jedná se o rychleschnoucí nátěr, který díky svému složení dovoluje aplikaci větší tloušťky bez případného stékání na svislé ploše. Dosahované tloušťky jedné vrstvy se dle těchto vlastností nátěrové hmoty a způsobu aplikace pohybují v rozmezí 40 – 80 μm . Pro dosažení vyšší tloušťky je možné po cca 15 – 30 min. opakovat nástřik tzv. metodou „mokrý do mokrého“. Pro aplikaci stříkáním je vhodné dle potřeby ředit nátěrovou hmotu v poměru 0 – 10 %. Vhodný tlak pro vysokotlaké stříkání je v rozmezí 15 – 20 MPa. [23]

Pro aplikaci základního nátěru platí ideální teplotní podmínky prostředí a povrchu 15 – 25 °C s minimem na 5 °C a současně se musí pohybovat minimálně 3 °C nad rosným bodem. Pro urychlení schnutí je nátěr přisoušet při teplotách 40 – 60 °C po dobu 15 až 30 min. ve vysoušecím boxu s odsáváním těkavých látek do spalovací jednotky. [23]

Díky členitosti modulu je potřebné nejprve lakovat rohy či kouty a následně nátěr přestříkat na celou plochu. Na špatně přístupném místě je potřebné provedení pásového nátěru, či je potřebné použití speciálně zahnutého ústí lakovací trysky. Při aplikaci nátěru se vždy postupuje tak, aby se omezilo zaprašování již nastříkaných ploch.

Jako vrchní nátěr je používána polyuretanová dvousložková jednovrstvá barva v tloušťce suchého filmu 60 μm s polomatným povrchem. Tento nátěrový systém je určen pouze pro vnější povrchovou úpravu pláště ocelového rámu, což jde především o pohledové části rámu, které nejsou zaplechovány, nebo jinak zaizolovány od působení klimatických vlivů. Dosahované tloušťky vrstvy se pohybují v rozmezí 40 – 80 μm dle způsobu aplikace. Pro dosažení vyšší tloušťky je možné po cca 20 – 50 min. opakovat nástřik tzv. metodou „mokrý do mokrého“. [24]

Dvousložková barva se ve směšovací jednotce mísí s tužidlem v poměru 10:1 hmotnostních dílů a doporučená doba aplikace je do 10 – 20 min. Pro aplikaci stříkáním je vhodné ředit nátěrovou hmotu ředidlem U 6002 maximálně v 10% poměru. Vhodný tlak pro vysokotlaké stříkání je v rozmezí 15 – 20 MPa. Při aplikaci nátěru jsou ideální teplotní podmínky prostředí a podkladu stanoveny na 18 – 25 °C s minimem na 15 °C a současně se musí pohybovat minimálně 3 °C nad rosným bodem. Maximální relativní vlhkost nesmí převýšit 75% mez. Pro urychlení schnutí je možné nátěr přisoušet při teplotách 40 – 60 °C po dobu 15 až 45 min. ve vysoušecím boxu. [24]



Obrázek 13: Vytvrzovací fáze vrchního nátěru odstínu RAL 7040

6.3 Kontrola nátěrového systému

Konečných vlastností se u nátěrového systému dosáhne po úplném vyzrání a doba odpovídá cca až 7 dnům. Pak je výrobcem garantována škála fyzikálně mechanických vlastností. Rámy nesmí být, v závislosti na klimatických podmínkách, až 4 hodiny po aplikaci vystaveny přímým povětrnostním podmínkám. Po tuto dobu je třeba skladování v temperovaných halách při teplotě min. 20 °C. Relativní vlhkost nad 70 % značně prodlužuje zasychání filmu. [21]

Po minimálně 24 hodinách od dokončení nátěru musí být provedeno měření suché tloušťky nátěru se záznamem v systému řízení jakosti. Ideální dosahovaná tloušťka tvoří součet obou vrstev a to je 120 µm. Tloušťka menší 80 % NDFT není akceptována bez ohledů na drsnost podkladu dle normy dle ČSN EN ISO 12 944-7. Při nevyhovění je potřebné provést opakovanou aplikaci nátěrové hmoty. [21]

Měření se provádí zkalirovaným digitálním měřícím zařízením Elcometer 456 nedestruktivního charakteru. Zařízení má oddělenou magnetickou příkládací sondu. Měření je vysoce produktivní a podává výsledky s přesností $\pm 1 \%$.

6.4 Opravy nátěru

Při kompletaci může dojít k mechanickému poškození nátěru. V případě nutnosti opravy je potřeba samotnou ocelovou konstrukci očistit od nečistot ve formě prachu, špon, bahna apod. Následně poškozené místo lehce přebrousit, odmastit a znovu povlakovat v předepsaném sledu a požadovaných tloušťkách. Standardem je vlivem estetického hlediska lakovat tak, aby nebyly patrné přechody nátěrového filmu např. vlivem suchého stříku. [21]

Defekty vzniklé vlivem manipulace a transportu je potřebné odstranit před samotným smontováním objektu. Poškozené či zkorodované místo se mechanicky očistí ocelovým kartáčem popř. smirkovým papírem na stupeň St 2 dle ČSN EN ISO 8501-1 a následně se ošetří akrylátovou barvou základní a vrchní dle odstínu konstrukce. Pro sestavu ocelové konstrukce pro účely montáže jsou tak vždy přibaleny potřebné opravné nátěry formou sprejů.

7 METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

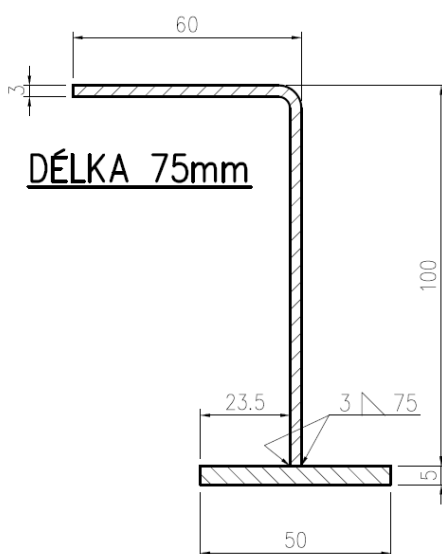
Experimentální práce jsou založeny na posuzování přípravy povrchu a následného nátěrového povlaku ve smyslu jeho přilnavosti. Postup byl vytvořen dle obecně známých normativních předpisů hodnocení povrchových úprav. Na provedení experimentu byla nejprve vytvořena série vzorků výrobou, kde jsou stejným postupem zhotovovány dané ocelové konstrukce. Druhá série vzorků byla vyhotovena ze stejného materiálu, ale do celého řetězce činností byla přidána technologie tryskání ostrohranným abrazivem. Následně se obě série vzorků podrobily sérií porovnávacích zkoušek, tak jak je uvedeno v následujícím přehledu.

Vyhotovení experimentálních zkoušek lze rozčlenit následovně:

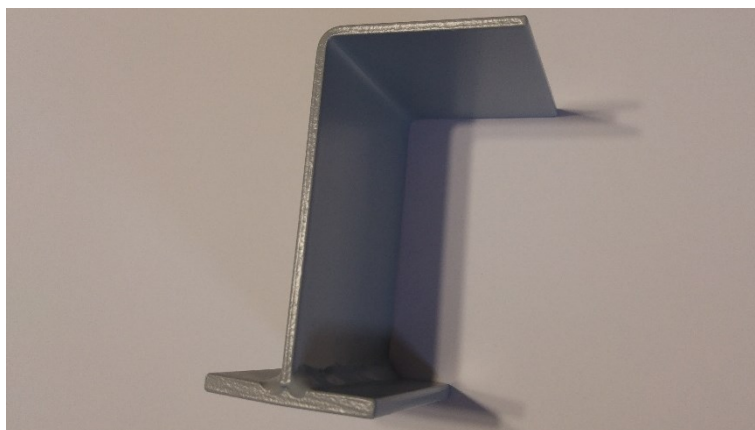
- hodnocení přípravy povrchu vzorků:
 - měření drsnosti podkladového materiálu dle normy ČSN EN ISO 4287,
 - hodnocení povrchu materiálu optickým mikroskopem,
 - vizuální hodnocení stupně přípravy svarů a hran normou ČSN EN ISO 8501-3,
 - hodnocení zaprášení ocelového povrchu dle normy ČSN ISO 8502-3,
 - hodnocení povrchového napětí pomocí inkoustů.
- hodnocení nátěrového systému:
 - měření tloušťky suchého nátěrového filmu dle normy ČSN EN ISO 2808,
 - hodnocení přilnavosti nátěrového systému:
 - odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1,
 - zkouška přilnavosti křížovým řezem dle normy ČSN EN ISO 16276-2.

8 ZKUŠEBNÍ VZORKY

Pro účely experimentální části byly vyhotoveny dva typy vzorků z materiálů používaných na konstrukci. Prvním typem jsou ocelové plechy tloušťky 3 mm a formátu 120×170 mm. Druhým typem je svařenec z části řešené ocelové konstrukce schematicky vyobrazený na obrázku 14 a 15. Jedná se o svařenec podlahového nosníku tvaru Z-profilu, který byl pro provedení experimentu zkrácen na délku 75 mm a svařen průběžným svarem z obou stran. Svařenec je složen z OPL 50×5 mm délky 75 mm a L-profilu 60×100 mm ohraňného z plechu tloušťky 3 mm.



Obrázek 14: Schéma svařeného vzorku



Obrázek 15: Lakovaný svařený vzorek

8.1 Materiál vzorků

8.1.1 Plech tloušťky 3 mm

Ocelové plechy a L-profilů svařenců jsou vyrobeny z konstrukčního ocelového plechu tloušťky 3 mm v jakosti S355MC s technickými dodacími podmínkami specifikovanými v normě ČSN EN 10149-2. Díky termomechanickému válcování jsou zlepšeny mechanické vlastnosti takto přetvořeného ocelového materiálu, a proto je vhodný pro ohraňování profilů za studena, ze kterých je konstrukce značnou měrou tvořena.

Podle inspekčního certifikátu 3.1 dle normy ČSN EN 10204, který odpovídá tavbě použitého plechu, jsou hodnoty chemického složení a mechanických vlastností uvedeny v následujících tabulkách 12 a 13.

Tabulka 12: Chemické složení oceli S355MC

| Chemický prvek | C | Si | Al | Nb | V | Mn | P | S | Ti |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hmotnostní podíl [%] | 0,080 | 0,012 | 0,035 | 0,022 | 0,002 | 0,570 | 0,011 | 0,005 | 0,019 |

Tabulka 13: Mechanické vlastnosti oceli S355MC

| Re [MPa] | Rm [MPa] | Tažnost A5 [%] |
|----------|----------|----------------|
| 443 | 502 | 31,5 |

8.1.2 Pásovina rozměru 50/5 mm

Pásovinou je tvořena druhá část svařence. Jedná se o konstrukční dobře svařitelnou ocel v jakosti S235JR+AR. Specifikace technických dodacích podmínek pro výrobky válcované za tepla je dle normy ČSN EN 10025-2. Jedná se o ocel s dosahovanou hodnotou nárazové práce minimálně 27 J při teplotě 20 °C. Jde o ocel bez speciálního požadavku na proces válcování a bez následného tepelného zpracování.

Podle inspekčního certifikátu 3.1, pro danou tavbu, jsou hodnoty chemického složení a mechanických vlastností odpovídající následujícím tabulkám 14 a 15.

Tabulka 14: Chemické složení oceli S235JR+AR

| Chemický prvek | C | Si | Al | Nb | V | Mn | P | S | Ni | Mo |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hmotnostní podíl [%] | 0,130 | 0,180 | 0,035 | 0,001 | 0,002 | 0,650 | 0,015 | 0,025 | 0,100 | 0,020 |

Tabulka 15: Mechanické vlastnosti oceli S235JR+AR

| Re [MPa] | Rm [MPa] | Tažnost A5 [%] |
|----------|----------|----------------|
| 361 | 485 | 38,3 |

8.2 Příprava povrchu

Na provedení experimentálních zkoušek bylo zajištěno 16 kusů plechů a 16 kusů svařenců. Vzorky lze rozdělit na skupinu s aktuálně používanou povrchovou úpravou ocelové konstrukce a na skupinu s nově navrhovaným stavem, kde je výstupně otryskaný povrch. Pro přehlednost je v tabulce 16 uveden přehled dle jednotlivých stavů vzorků a jejich systému značení. Dle tohoto přehledu je dále v kapitolách řešeno dosažení aktuálního i navrhovaného stavu dle technologických operací povrchové úpravy.

Tabulka 16: Označení vzorků pro experimentální část

| Vzorek | Aktuální stav | | | Navrhovaný stav | | |
|----------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------|--|-----------------------------|
| | Výchozí stav po dělení a svařování | Příprava povrchu před aplikací nátěru | Aplikace nátěrového systému | Otryskávání | Ofoukání a odmaštění otryskaného povrchu | Aplikace nátěrového systému |
| Plech | 1, 2 | 3, 4 | 5, 6, 7, 8 | 9, 10 | 11, 12 | 13, 14, 15, 16 |
| Svařenec | 1, 2 | 3, 4 | 5, 6, 7, 8 | 9, 10 | 11, 12 | 13, 14, 15, 16 |

8.2.1 Aktuální stav

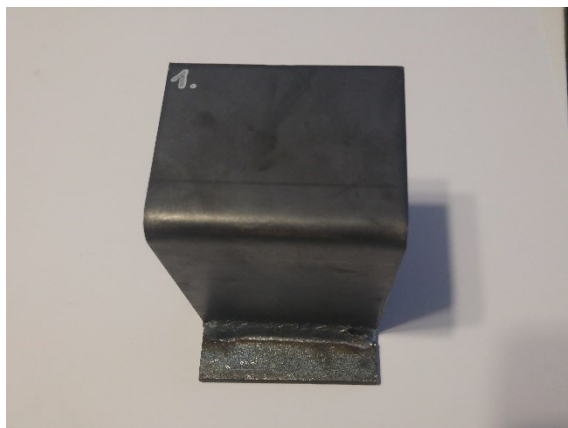
Zde je série vzorků vyhotovena aktuálním technologickým postupem chránění ocelové konstrukce. Zde je důležitým parametrem především provedení a očištění svarů, ale i předúprava povrchu pro následnou aplikaci nátěrové hmoty. Aplikace nátěru by měla být v souladu s doporučenou předúpravou povrchu. Tabulka A3 přílohy A s nátěrovými systémy určenými do korozních podmínek C3 dle normy ČSN EN ISO 12 944-5 stanovuje tryskací předúpravu povrchu v provedení Sa 2^{1/2}. Tato předúprava je definována v příloze A normy ČSN EN ISO 12 944-4 zbavením povrchu okují, rzi a cizích látek. Povrch plechů vykazoval nízký stupeň zarezavění A dle normy ČSN EN ISO 8501-1 s povrchem z velké části pokrytým přilnavou vrstvou okují, ale byl téměř bez rzi. Současnou ruční mechanizovanou předúpravou je dosaženo stupně očištění St 2, protože povrch vykazuje stále značné zasažení povrchu okují. Míra těchto skutečností je proto porovnávána s navrhovaným stavem, který se řídil normativními předpisy.

8.2.1.1 Výchozí stav po dělení a svařování

Výchozí stav plechu po naválcování je pokryt vrstvou okují. Tyto okuje tvoří nepříliš dobře přilnutou, rovnoměrnou vrstvu způsobenou chladnutím za tepla válcovaného plechu. Na druhou stranu okuj tvoří současně pasivační vrstvu způsobující zpomalení procesu koroze. Plech je pokryt viditelnými produkty koroze, mastnotami a produkty prachu. Vzorek svařence je tvořen stejným povrchem plechu a pásovinou s vstupně otryskaným povrchem na stupeň Sa 2^{1/2}. Svařence byly od rozstříku standardně očištěny škrabákem, ale současně zůstaly pokryty separační kapalinou, jemnými produkty rozstříku, struskou na povrchu svaru a produkty z hoření oblouku. O parametrech vstupního tryskání pojednává tabulka 17.

Tabulka 17: Parametry vstupního tryskání

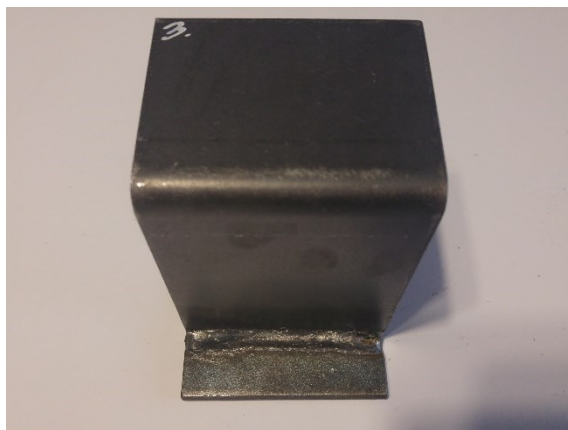
| | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Označení tryskacího zařízení | 4 TP 700/650 |
| Druh tryskacího zařízení | Průběžné se 4 metacími koly |
| Abrazivo | Ocelový granulát S 280 |
| Zrnitost [μm] | 810 – 1000 |



Obrázek 16 a 17: Výchozí stav plechu a svařence

8.2.1.2 Příprava povrchu před aplikací nátěru

Povrch materiálu je zbaven mastnoty za použití nitroředidla C 6000. Dále je povrch broušen excentrickou bruskou s brusným papírem zrnitosti P60, kde není plně odstraněna okuje. Broušením je odstraněno pokrytí povrchu rozstříkem a jemným produktem rzi. Povrch je částečně zdrsňen vrypováním abraziva trajektorií pohybu vytvořenou excentrickou bruskou.



Obrázek 18 a 19: Upravený stav plechu a svařence

8.2.1.3 Aplikace nátěrového systému

Základní nátěr je tvořen vrstvou akrylátové barvy. Vrchní nátěr je tvořen polyuretanovou jednovrstvou barvou. Dvouvrstvý systém byl vytvořen v celkové tloušťce suchého filmu 120 μm s časovým rozestupem necelých 5 hodin. Obě vrstvy byly nanесeny bezvzduchovou vysokotlakou technologií. Její parametry jsou uvedeny v tabulce 18. O klimatických podmínkách nanášení vypovídá tabulka 19. O vlastnostech nátěrových hmot pak pojednávají tabulky 20 a 21.

Tabulka 18: Parametry lakovacího zařízení

| | |
|-------------------------------|------------------|
| Airless ruční zařízení | PUMA 28-40 AL |
| Tlak na trysce [MPa] | 18 |
| Lakovací tryska | TradeTip 2 / 315 |
| Vrtání [mm] | 0,38 |
| Uhel paprsku [°] | 30 |
| Šíře paprsku [mm] | 150 |

Tabulka 19: Klimatické podmínky aplikace nátěrového systému

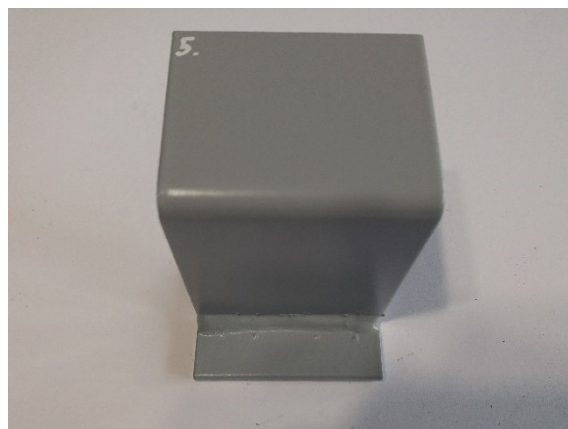
| | Aplikace základního nátěru | Aplikace vrchního nátěru |
|---|-----------------------------------|---------------------------------|
| Teplota okolí [°C] | 19,7 | 20,1 |
| Teplota povrchu [°C] | 18,6 | 19,9 |
| Relativní vlhkost [%] | 37 | 40 |
| Rosný bod [°C] | 3,9 | 5,9 |
| Rozdíl mezi rosným bodem a teplotou povrchu [°C] | 14,7 | 14 |

Tabulka 20: Vlastnosti základní nátěrové hmoty [23]

| | |
|--|-----------|
| Nejnižší objem sušiny [%] | 64 |
| Obsah VOC [g/kg] | 350 |
| Hustota [g/cm ³] | 1,4 |
| Teoretická vydatnost při vrstvě 60 µm [m ² /kg] | 4,6 – 5,3 |
| Doba zasychání [hod] | 2 |

Tabulka 21: Vlastnosti vrchní nátěrové hmoty [24]

| | |
|--|-------------|
| Nejnižší objem sušiny [%] | 55 |
| Obsah VOC [g/kg] | 320 |
| Hustota [g/cm ³] | 1,25 – 1,46 |
| Teoretická vydatnost při vrstvě 60 µm [m ² /kg] | 5 – 6,7 |
| Doba zasychání [hod] | 12 |



Obrázek 20 a 21: Lakovaný stav plechu a svařence

8.2.2 Navrhovaný stav

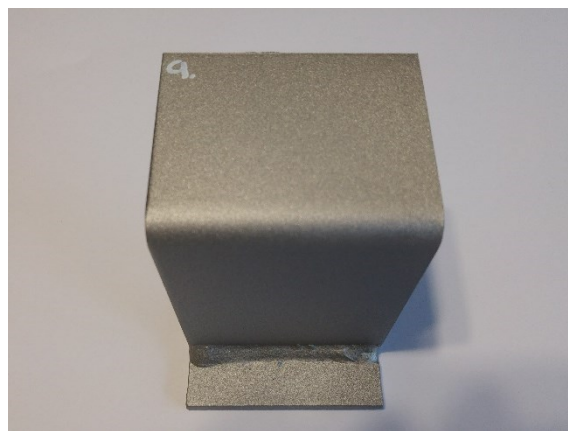
Série vzorků, ze stejného materiálu a stejných podmínek výroby, byla podrobena výstupnímu otryskávání na stupeň předúpravy povrchu Sa 2^{1/2}. Tento stupeň doporučuje norma ISO 12 944-5 pro aplikaci nátěrových hmot v korozních podmínkách C3.

8.2.2.1 Otryskávání

Požadavkem bylo otryskat povrch na velmi vysoký stupeň čistoty povrchu Sa 2^{1/2}. Tento stupeň byl kladně vyhodnocen dle obrázkové přílohy normy ČSN EN ISO 8501-1. Povrch vykazoval jednotný kovový vzhled vizuálně čistého povrchu Sa 3. Z povrchu plechů byly odstraněny veškeré okuje, rez a nečistoty. Z povrchu svařenců byly odstraněny kapky rozstříku a struska z povrchu svaru. Tento stav odpovídá kritériím přípravy svařenců P2 dle normy ČSN EN ISO 8501-3. Povrchu materiálu daného stupně bylo dosaženo parametry tryskání uvedenými v tabulce 22.

Tabulka 22: Parametry výstupního tryskání

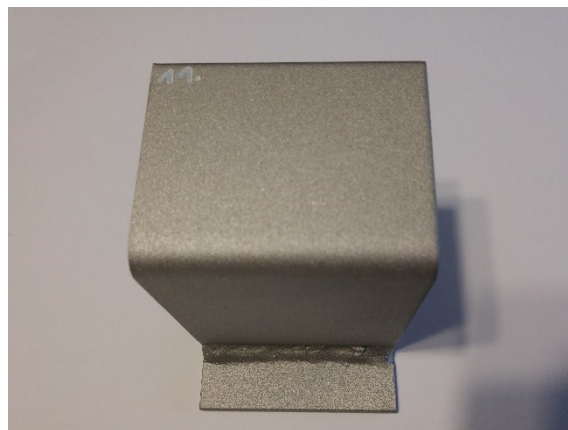
| | |
|----------------------------|---------------------------|
| Označení tryskací zařízení | DBS-200RCS |
| Druh tryskacího zařízení | Ruční tlakovzdušné v boxu |
| Výstupní tlak [MPa] | 0,5 |
| Abrázivo | Ocelová drť GH 80 |
| Zrnitost [μm] | 200 – 420 |
| Tvrdost HRC | 62 – 67 |



Obrázek 22 a 23: Tryskaný stav plechu a svařence

8.2.2.2 Ofoukání a odmaštění otryskaného povrchu

Povrch byl ofoukán tlakovým vzduchem a ručně hadrem odmaštěn nitroředidlem C 6000. Tímto krokem byly z povrchu sejmuty mikročástice zaprášení produkty tryskání, které mohou značně narušovat přilnavost nátěrových hmot.



Obrázek 24 a 25: Tryskaný, odmaštěný stav plechu a svařence

8.2.2.3 Aplikace nátěrového systému

Nátěrový systém byl na vzorcích proveden stejným způsobem, složením i zařízením jako na neotryskaných vzorcích. Vrchní nátěr byl na základem ošetřený povrch aplikován s časovým rozestupem necelých 4 hodin. Záznam o klimatických podmínkách nanášení nátěrové hmoty je uveden v tabulce 23.

Tabulka 23: Klimatické podmínky aplikace nátěrového systému

| | Aplikace základního nátěru | Aplikace vrchního nátěru |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Teplota okolí [°C] | 19,1 | 19,5 |
| Teplota povrchu [°C] | 18,7 | 19,1 |
| Relativní vlhkost [%] | 35 | 36 |
| Rosný bod [°C] | 3,1 | 3,5 |
| Rozdíl mezi rosným bodem a teplotou povrchu [°C] | 15,6 | 15,6 |



Obrázek 26 a 27: Tryskaný, odmaštěný stav plechu a svařence

9 PROVEDENÍ A VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

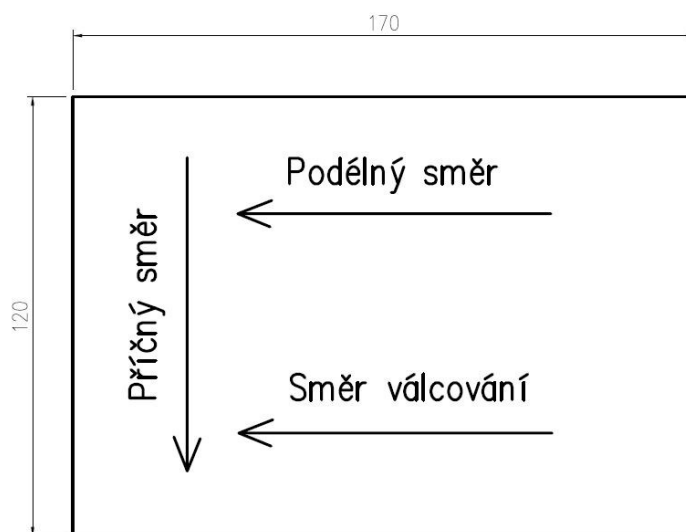
9.1 Měření drsnosti

Měření drsnosti řízené normou ČSN EN ISO 4287 bylo provedeno za účelem ověření kotevního povrchu. Protože šlo o termomechanicky válcovaný plech, bylo předpokládáno, že hodnoty drsnosti budou rozdílné ve směru a kolmo k průběhu válcování. Drsnost byla měřena za použitím drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-301.



Obrázek 28: Měřicí sonda pro odečet hodnoty drsnosti

Postup měření drsnosti byl proveden dle následujícího schématu a byl zaznamenán do tabulek, kde jsem hodnoty zprůměroval. V tabulkách je zaznamenána průměrná aritmetická úchylka profilu R_a a největší výška profilu R_z pro jednotlivé skupiny vzorků.



Obrázek 29: Schéma se směry prováděného měření na ocelovém plechu

V tabulce 24 je uvedeno nastavení přístroje pro měření povrchu válcovaného plechu. V tabulce 25 je zaznamenán jeho profil. V tabulce 26 je pak nastavení přístroje pro měření otryskaného povrchu. Nejdříve se ověřil výchozí stav po otryskání s výsledky uvedenými v tabulce 27 a následně s ofoukaným a odmaštěným povrchem v tabulce 28.

Tabulka 24: Nastavení přístroje pro měření povrchu válcovaného plechu

| | |
|--|---------------------|
| Standard měření | ISO 1997 |
| Nastavení dle Ra [μm] | $\leq 2\mu\text{m}$ |
| Filtr rozhraní drsnosti a vlnitosti λ_c [mm] | 0,8 |
| Délka dráhy odečtu drsnosti l [mm] | 4 |

Tabulka 25: Drsnost profilu broušeného odmaštěného plechu

| Stav | Označení | Směr měření | Parametr | Drsnost [μm] | | Průměr měření [μm] |
|--------------------|----------|-------------|----------|---------------------------|------|---------------------------------|
| | | | | 1. | 2. | |
| Broušený odmaštěný | Vzorek 3 | Podélný | Ra | 1,04 | 1,30 | 1,17 |
| | | | Rz | 5,94 | 7,26 | 6,60 |
| | | Příčný | Ra | 1,29 | 1,16 | 1,23 |
| | | | Rz | 7,8 | 6,46 | 7,13 |
| | Vzorek 4 | Podélný | Ra | 1,02 | 1,40 | 1,21 |
| | | | Rz | 6,48 | 8,66 | 7,57 |
| | | Příčný | Ra | 1,02 | 1,15 | 1,09 |
| | | | Rz | 6,73 | 7,69 | 7,21 |

Tabulka 26: Nastavení přístroje pro měření povrchu otryskaného plechu

| | |
|--|---------------------|
| Standard měření | ISO 1997 |
| Nastavení dle Ra [μm] | $\geq 2\mu\text{m}$ |
| Filtr rozhraní drsnosti a vlnitosti λ_c [mm] | 2,5 |
| Délka dráhy odečtu drsnosti l [mm] | 12,5 |

Tabulka 27: Drsnost profilu tryskaného plechu

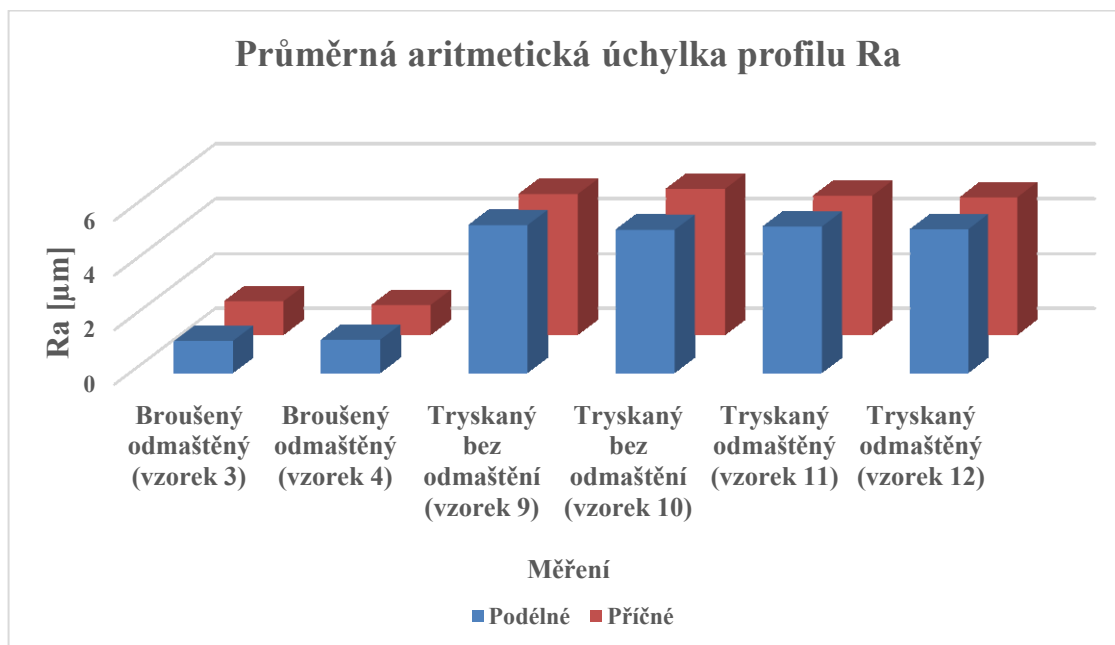
| Stav | Označení | Směr měření | Parametr | Drsnost [μm] | | Průměr měření [μm] |
|---------|-----------|-------------|-----------|---------------------------|-------|---------------------------------|
| | | | | 1. | 2. | |
| Trysaný | Vzorek 9 | Podélný | Ra | 5,29 | 5,50 | 5,40 |
| | | | Rz | 39,06 | 41,01 | 40,04 |
| | | Příčný | Ra | 5,29 | 4,99 | 5,14 |
| | | | Rz | 36,82 | 33,81 | 35,32 |
| | Vzorek 10 | Podélný | Ra | 5,36 | 5,10 | 5,23 |
| | | | Rz | 37,07 | 32,40 | 34,74 |
| | | Příčný | Ra | 5,25 | 5,40 | 5,33 |
| | | | Rz | 34,31 | 34,44 | 34,38 |

Tabulka 28: Drsnost profilu tryskaného, ofoukaného a odmaštěného plechu

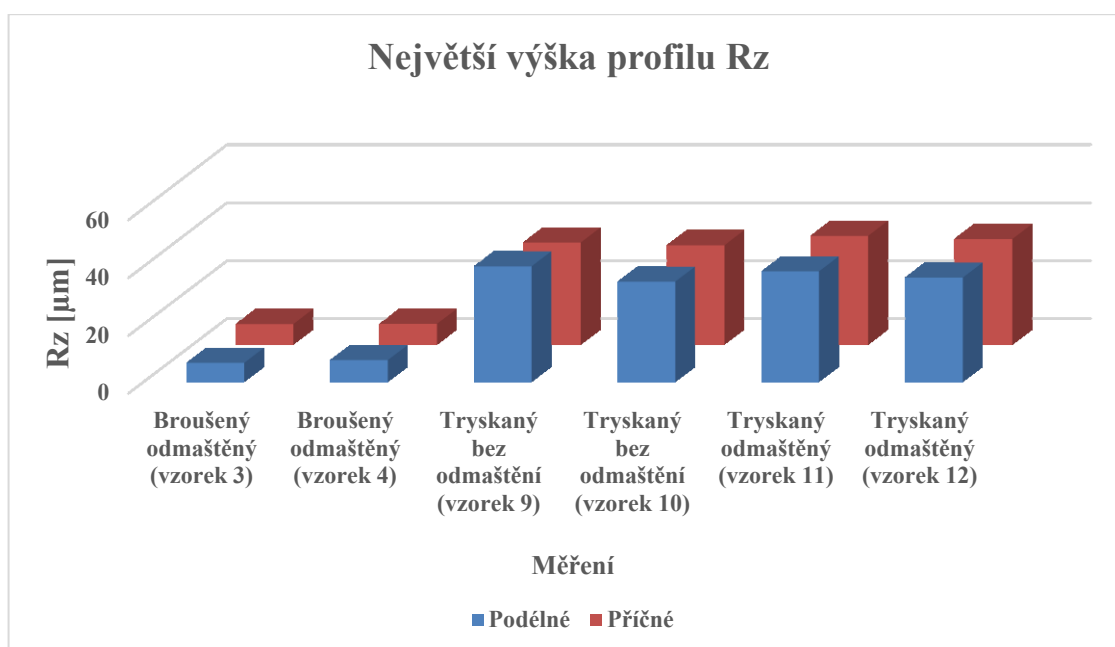
| Stav | Označení | Směr měření | Parametr | Drsnost [μm] | | Průměr měření [μm] |
|-------------------------------|-----------|-------------|-----------|---------------------------|-------|---------------------------------|
| | | | | 1. | 2. | |
| Trysaný s ofukem a odmaštěním | Vzorek 11 | Podélný | Ra | 5,02 | 5,68 | 5,35 |
| | | | Rz | 37,08 | 39,52 | 38,30 |
| | | Příčný | Ra | 4,67 | 5,48 | 5,08 |
| | | | Rz | 35,57 | 39,67 | 37,62 |
| | Vzorek 12 | Podélný | Ra | 4,83 | 5,66 | 5,25 |
| | | | Rz | 31,83 | 40,50 | 36,17 |
| | | Příčný | Ra | 5,10 | 4,94 | 5,02 |
| | | | Rz | 38,39 | 34,68 | 36,54 |

V normě ČSN EN ISO 12 944-4 je ideální profil vhodný pro přilnutí nátěru definován největší výškou profilu Rz odpovídající střednímu stupni porovnávacího komparátoru G dle ČSN EN ISO 8503-1. Tato hodnota odpovídá Rz rovnému 60 – 100 μm s 10 μm tolerancí. Z tabulek vyplývá, že hodnoty Rz pro broušené vzorky jsou velmi nízké a hodnoty Rz otryskaného povrchu se blíží danému požadavku.

Následující grafy 1 a 2 zobrazují srovnání průměrných hodnot Ra a Rz mezi jednotlivými skupinami testovaných vzorků. Je patrné, že tryskaný povrch svojí drsností značně převyšuje pouze lehce přebroušený povrch materiálu.



Graf 1: Srovnání Ra jednotlivých vzorků



Graf 2: Srovnání Rz jednotlivých vzorků

9.2 Hodnocení povrchu optickým mikroskopem

Pro detailnější ověření provedení povrchu v průběhu jednotlivých stavů vzorků před aplikací nátěru bylo provedeno snímkování mikroskopem. Snímky hodnotící čistotu povrchu plechů i svařenců byly pořízeny pomocí světelného mikroskopu Neophot 2 s 10 násobným zvětšením.

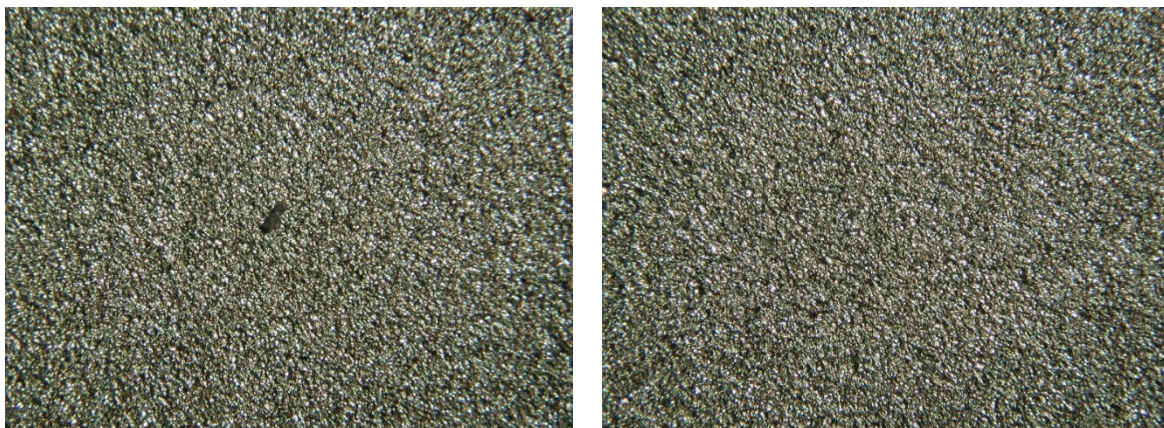
9.2.1 Hodnocení povrchu zkušebních plechů

Na obrázku 30 je zobrazen povrch vzorku dosažený současnou povrchovou úpravou před aplikací nátěru. Na povrchu je patrná vrstva okují a slabých produktů koroze. Současně jde na povrchu pozorovat vytvoření struktury po broušení v podobě rýh do vrstvy okuje. Malé produkty zaprášení pak lze vyhodnotit jako běžné, vzniklé manipulací a ofoukáním by jistě byly odstraněny.



Obrázek 30: Povrch vzorku 3 zhotoveného aktuálním postupem předúpravy

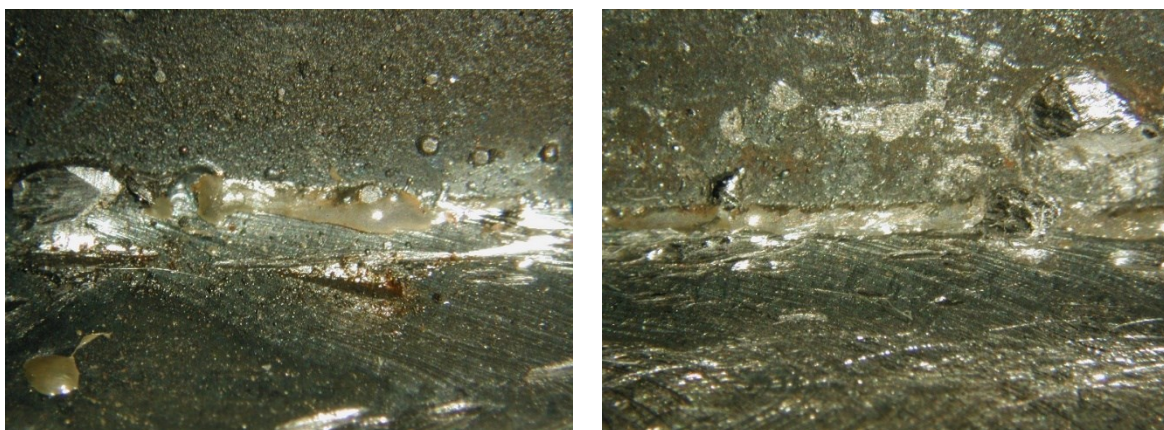
Na obrázcích 31 a 32 je zachycen povrch po otryskání pomocí ostrohranného abraziva. První obrázek ukazuje povrch bez ofoukání a odmaštění. V jeho prostřední části je na povrchu patrná nečistota. Celkově se při stejném osvětlení povrch jeví jako odstínově tmavší vlivem zaprášení produkty tryskání a prachovými částicemi, které nebyly odstraněny. Druhý obrázek pak představuje povrch připravený pro aplikaci nátěru.



Obrázek 31 a 32: Povrch vzorku 9 po otryskání a vzorku 12 po ofoukání a odmaštění

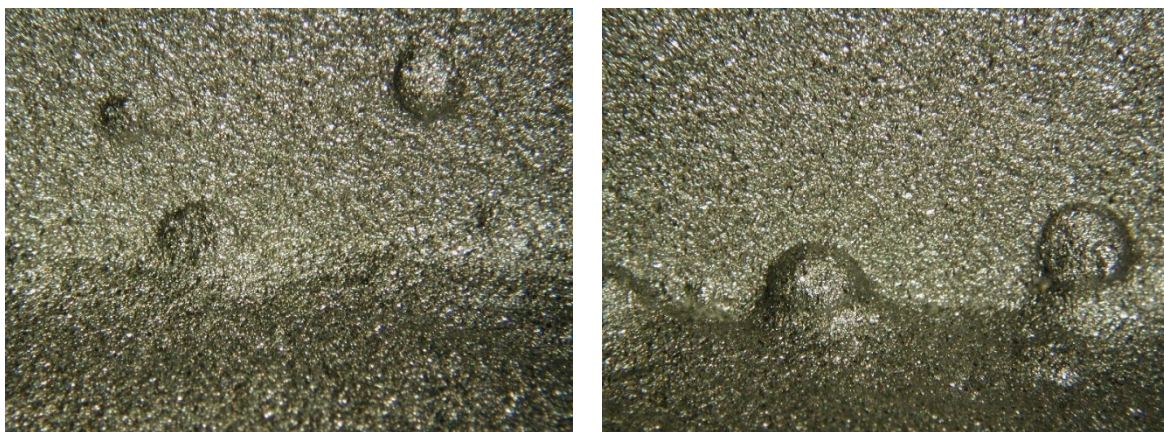
9.2.2 Hodnocení povrchu svařenců

Na obrázku 33 je zobrazeno provedení svaru ihned po svaření a očištění od rozstříku na hranici se základním materiálem. Na povrchu svaru je dobře patrná struska, která má obecně známou malou soudružnost s podkladem. Na okrajové části svaru je pak patrný neočištěný rozstřík. Na obrázku 34 je patrné důkladnější očištění svaru se vznikem pro nátěr nepříznivých rýh a odstraněním defektu svaru. Jemný produkt rozstříku je však stále patrný. Obrázek taky ukazuje aktuální úpravu povrchu před aplikací nátěru.



Obrázek 33 a 34: Povrch svaru vzorku 2 s přechodem na základní materiál ihned po svaření a povrch svaru vzorku 3 u aktuálně prováděné předúpravy

Na následujících obrázcích je skupina vzorků s otryskaným povrchem. Z obrázku 35 je patrné, že přilnuté produkty rozstříku mají pro povrchovou úpravu přijatelnější tvar. Jedná se o povrchový stav ihned po otryskání, proto lze vlivem stejného osvětlení spatřit rozdíl odstínu s obrázkem 36. Stejně jako je tomu u plechů, lze tento jev přiřadit zaprášení vlivem vzniku produktů při otryskávání. Na obrázku 36 jsou stále patrné defekty okraje housenky. Při pohledu na oba povrchy lze zaručit plné odstranění okují, strusky, jemného rozstříku, produktů hoření oblouku a záseků po čištění svarů škrabákem. Tvar přilnutého rozstříku vyhovuje stupni přípravy svarů P2 dle normy ČSN EN ISO 8501-3.



Obrázek 35 a 36: Povrch svaru vzorku 10 s přechodem na základní materiál po otryskání a povrch svaru vzorku 11 s ofukem a odmaštěním

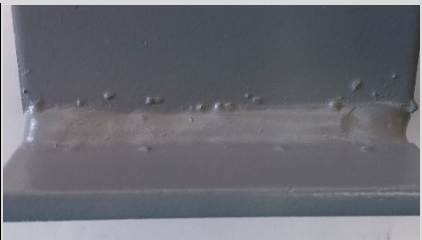
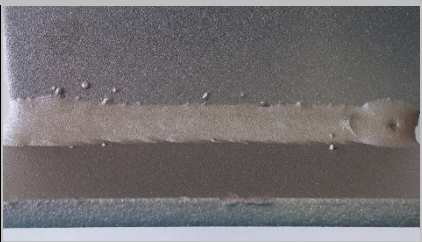
9.3 Hodnocení stupně přípravy svarů a hran

Vizuální hodnocení stupně přípravy svarů a hran normou ČSN EN ISO 8501-3 jsem zde začlenil z důvodu provedení ocelové konstrukce jakožto členitého svařence. Provedení svarových spojů a opracování hran je značným činitelem znehodnocujícím PÚ. Členění vad je dle výskytu na svarech, hranách nebo na povrchu. Vizuální hodnocení jsem provedl na všech stupních připravenosti svařených vzorků. Z části je toto hodnocení uvedeno i v předchozí kapitole, kde byly vzorky podrobeny mikroskopickému zvětšení.


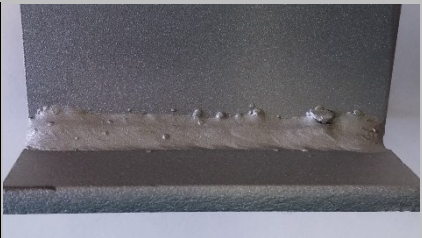
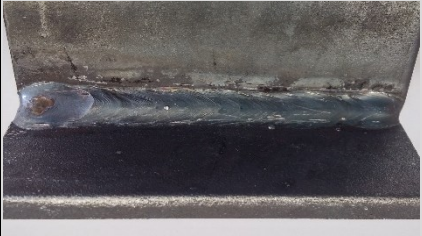

Vycházet budu ze stupně přípravy povrchu s viditelnými vadami vhodnými pro aplikaci nátěrových hmot P2, jakožto současně nastavenému standardu. Stupeň P2 nezmiňuje potřebu přípravy střížených hran bez otřepu. Výskyt mechanicky vytvořených rýh po čištění svarů je pro zvolený stupeň nepřipustný, pokud není poloměr rýh alespoň 2 mm. [11]

V následujícím přehledu jsem pomocí tabulek 29 a 30 zpracoval patrné vady svarových spojů na svařencích s opracováním povrchu současným postupem a se zařazeným otryskáváním. Vady na vzorcích jsem porovnal s kritérii stupně přípravy P2.

Tabulka 29: Přípustnost rozstříku povrchu pro stupeň přípravy P2

| Označení | Stav vzorku | Odpovídající vzhled vady | Popis vady | Stupeň přípravy P2 |
|-----------|--------------------------------------|---|-------------------------|--|
| Vzorek 5 | Aktuální stav s nátěrem |  | Rozstřík svarového kovu | Tento maximálně půlkulový tvar rozstříku může zůstat |
| Vzorek 10 | Otryskaný stav bez ofuku a odmaštění |  | Rozstřík svarového kovu | Tvar rozstříku je více než půlkulový a nemůže zůstat |


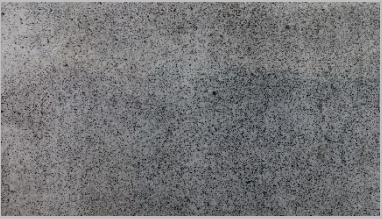


Tabulka 30: Přípustnost ostatních vad povrchu pro stupeň přípravy P2

| Označení | Stav vzorku | Odpovídající vzhled vady | Popis vady | Stupeň přípravy P2 |
|-----------|--------------------------------------|---|----------------------|---|
| Vzorek 14 | Otryskaný stav s nátěrem |  | Vrub na okraji svaru | Povrch musí být prostý od hlubokých a ostrých vrubů |
| Vzorek 11 | Otryskaný stav s ofukem a odmaštěním |  | Vrub na okraji svaru | Povrch musí být prostý od hlubokých a ostrých vrubů |
| Vzorek 4 | Aktuální stav před aplikací nátěru |  | Struska po svařování | Povrch musí být oproštěn od strusky |
| Vzorek 10 | Otryskaný stav bez ofuku a odmaštění |  | Koncový kráter | Kráter je bez ostrých hran a hlubokých staženin a může zůstat |

9.4 Hodnocení zaprášení povrchu





Stanovení zaprášení ocelového povrchu pomocí samolepící pásky je řízeno dokumentem normy ČSN ISO 8502-3. Zkouška byla provedena nalepením a sejmutím 25 mm široké bezbarvé pásky. Páska se sejmula pod úhlem 180° a umístila se na kontrastní podklad vůči zachyceným částicím. Zkušební vzorky s aktuálním i navrhovaným postupem předúpravy povrchu se porovnaly s výchozím i upraveným stavem vhodným pro nátěr. Dle obrazové přílohy normy se odhadem hodnotilo průměrné množství prachu a průměrná velikost znečišťujících částí. Výsledky jsou pro plechy uvedeny v následujících tabulkách 31 a 32. Výsledky povrchu svařenců jsou v tabulkách 33 a 34. [25]

Tabulka 31: Hodnocení zaprášení povrchu plechů výchozího stavu a stavu po aktuálním očištění a lehkém přebroušení

| Označení | Stav vzorku | Odpovídající vzhled znečištění povrchu | Množství prachu | Velikost prachových částic |
|----------|------------------------------------|---|-----------------|----------------------------|
| Vzorek 1 | Aktuální výchozí stav po dělení |  | 5 | 3 |
| Vzorek 2 | Aktuální výchozí stav po dělení |  | 5 | 3 |
| Vzorek 3 | Aktuální stav před aplikací nátěru |  | 3 | 2 |
| Vzorek 4 | Aktuální stav před aplikací nátěru |  | 2 | 2 |




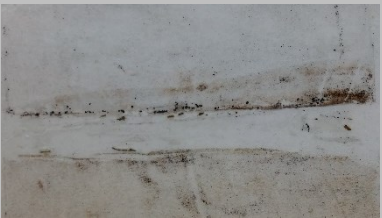
U aktuální úpravy ocelového plechu je patrné razantní zlepšení čistoty povrchu po lehkém obroušení a odmaštění.

Tabulka 32: Hodnocení zaprášení povrchu plechů otryskaného stavu a jeho stavu po ofoukání a odmaštění

| Označení | Stav vzorku | Odpovídající vzhled znečištění povrchu | Množství prachu | Velikost prachových částic |
|-----------|-------------------------------------|---|-----------------|----------------------------|
| Vzorek 9 | Navrhovaný otryskaný stav |  | 5 | 1 |
| Vzorek 10 | Navrhovaný otryskaný stav |  | 5 | 1 |
| Vzorek 11 | Otryskaný, ofoukaný a omaštěný stav |  | 4 | 1 |
| Vzorek 12 | Otryskaný, ofoukaný a omaštěný stav |  | 4 | 1 |

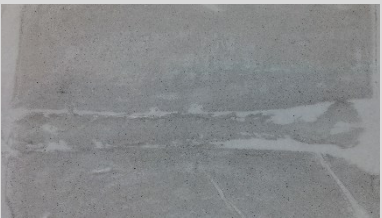
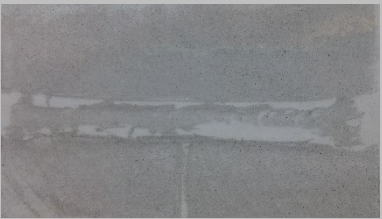

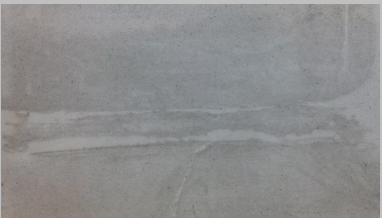
Zde byla patrná změna barevného odstínu pásky na otryskávaném povrchu. Jeho ofukem a odmaštěním byla četnost těchto částic snížena. Jemné částice ulpělé na povrchu lze přiřadit produktům otryskávání a okují. Norma ČSN ISO 8502-3 zmiňuje, že tento mikroskopický prach může být příčinou vážného narušení přilnavosti nátěru. [25]

Tabulka 33: Hodnocení zaprášení povrchu svařence výchozího stavu a stavu po aktuálním očištění a lehkém přebroušení

| Označení | Stav vzorku | Odpovídající vzhled znečištění povrchu | Množství prachu | | Velikost prachových částic | |
|----------|---------------------------------------|---|-----------------|---|----------------------------|---|
| Vzorek 1 | Aktuální stav výchozí stav po svaření |  | Svar | 2 | Svar | 4 |
| | | | Okolí | 5 | Okolí | 2 |
| Vzorek 2 | Aktuální stav výchozí stav po svaření |  | Svar | 2 | Svar | 4 |
| | | | Okolí | 5 | Okolí | 2 |
| Vzorek 3 | Aktuální stav před aplikací nátěru |  | Svar | 2 | Svar | 3 |
| | | | Okolí | 4 | Okolí | 1 |
| Vzorek 4 | Aktuální stav před aplikací nátěru |  | Svar | 2 | Svar | 4 |
| | | | Okolí | 4 | Okolí | 1 |

Zde byla páska nalepena ve směru podélné osy svaru. Ve spodní části je pásovina, uprostřed je osa svaru a nahoře je plechový profil. Intenzita znečištění produkty hoření oblouku je značně patrná na rozdílných stupních provedení vzorků. Na okraji svaru jsou vždy patrné velké odlupující se částice strusky, které značně narušují přilnavost nátěru. Plochy jsou zasaženy sazemí z produktu hoření. Protože norma ČSN ISO 8502-3 zmiňuje pro dosažení vyšší přesnosti hodnocení s mezistupněm, tak první číslo hodnotí povrch svaru a druhé číslo hodnotí jeho blízké okolí.[25]

Tabulka 34: Hodnocení zaprášení povrchu svařence otryskaného stavu a jeho stavu po ofoukání a odmaštění









| Označení | Stav vzorku | Odpovídající vzhled znečištění povrchu | Množství prachu | Velikost prachových částic |
|-----------|-------------------------------------|---|-----------------|----------------------------|
| Vzorek 9 | Navrhovaný otryskaný stav |  | 5 | 1 |
| Vzorek 10 | Navrhovaný otryskaný stav |  | 5 | 1 |
| Vzorek 11 | Otryskaný, ofoukaný a omaštěný stav |  | 4 | 1 |
| Vzorek 12 | Otryskaný, ofoukaný a omaštěný stav |  | 4 | 1 |

Páska byla nalepena a sejmuta stejným způsobem jako na předchozí skupině vzorků. Díky otryskání je povrch pásoviny, svaru a plechu sjednocen, proto nebylo potřeba rozčlenění. Výsledky vyšly stejně jako na otryskávaném plechu.

9.5 Hodnocení povrchového napětí








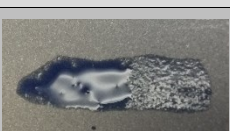
K ověření vhodnosti podkladu pro následnou aplikaci nátěrových hmot byl vzhledem k jeho povrchovému napětí zvolen postup provedený pomocí testovacích inkoustů. Pro zvolený podklad byl vybrán inkoust Arcotest test ink 38 mN/m. Inkoust se nanese drobným štětečkem na povrch, kde byl pozorován po dobu 2 s, zda se neslije v kapky. Hodnocení plechů je uvedeno v tabulce 35 a hodnocení svařenců je v tabulce 36.

Tabulka 35: Hodnocení povrchového napětí plechů

| Označení | Stav vzorku | Odpovídající vzhled naneseného inkoustu | Vhodnost pro nanesení nátěru |
|-----------|-------------------------------------|---|------------------------------|
| Vzorek 1 | Aktuální výchozí stav po dělení |  | Vyhovující |
| Vzorek 2 | Aktuální výchozí stav po dělení |  | Vyhovující |
| Vzorek 3 | Aktuální stav před aplikací nátěru |  | Vyhovující |
| Vzorek 4 | Aktuální stav před aplikací nátěru |  | Vyhovující |
| Vzorek 9 | Navrhovaný otryskaný stav |  | Vyhovující |
| Vzorek 10 | Navrhovaný otryskaný stav |  | Vyhovující |
| Vzorek 11 | Otryskaný, ofoukaný a omaštěný stav |  | Vyhovující |
| Vzorek 12 | Otryskaný, ofoukaný a omaštěný stav |  | Vyhovující |

Pokud se natřený proužek neslil, byl povrch vyhodnocen jako vhodný pro následnou aplikaci nátěrového systému.

Tabulka 36: Hodnocení povrchového napětí svařenců

| Označení | Stav vzorku | Odpovídající vzhled naneseného inkoustu | Vhodnost pro nanesení nátěru |
|-----------|-------------------------------------|---|------------------------------|
| Vzorek 1 | Aktuální výchozí stav po svaření |  | Nevyhovující |
| Vzorek 2 | Aktuální výchozí stav po svaření |  | Nevyhovující |
| Vzorek 3 | Aktuální stav před aplikací nátěru |  | Vyhovující |
| Vzorek 4 | Aktuální stav před aplikací nátěru |  | Vyhovující |
| Vzorek 9 | Navrhovaný otryskaný stav |  | Vyhovující |
| Vzorek 10 | Navrhovaný otryskaný stav |  | Vyhovující |
| Vzorek 11 | Otryskaný, ofoukaný a omaštěný stav |  | Vyhovující |
| Vzorek 12 | Otryskaný, ofoukaný a omaštěný stav |  | Vyhovující |

Na svařencích byl inkoust aplikován v těsné blízkosti svaru. Jako nevyhovující byly vyhodnoceny pouze první dva vzorky ihned po svaření. Zapříčiněním tohoto jevu byl mastný povrch vlivem nanesení separační kapaliny. Vzorky však v takovém stavu nebyly pokryty nátěrovou hmotou. U vzorku 3 se proužek na konci částečně slil, ale vzhledem k jeho částečné velikosti byl pokus zařazen jako vyhovující.

9.6 Měření suché tloušťky nátěru

Stanovení suché tloušťky nátěru je řízeno normou ČSN EN ISO 2808. Její zjištění bylo provedeno nedestruktivní metodou pomocí digitálního tloušťkoměru s FNF sondou. Vždy se na kontrolním plechu hodnotila celková vrstva nátěrového filmu. Jde tedy o součet základního i vrchního nátěru, který je určen na 120 μm . Pomocí přístroje bylo sejmuto 10 kontrolních měření obou sérií vzorku. Vhodným nastavením přístroje pak byla vypočítána průměrná hodnota suché tloušťky, ale i její maximální rozsah. Dle definice tloušťky suchého povlaku v normě ČSN EN ISO 12 944-5 obstály všechny lakované plechy. Z hlediska průměrných hodnot byly náměry nad nejnižšími limity stanovenými normou. Náměr s nejnižší hodnotou 111 μm vyhověl kritériu vyšší než 80 % NDFT. Měřicí přístroj k provedení měření je uveden na obrázku 37. O hodnotách suchých tlouštěk nátěru pojednává tabulka 37.



Obrázek 37: Tloušťkoměr Elcometer 456

Tabulka 37: Hodnoty měření suché tloušťky nátěru

| Stav | Označení vzorku | Počet měření | Průměrná hodnota [μm] | Nejnižší hodnota [μm] | Nejvyšší hodnota [μm] |
|------------|-----------------|--------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Aktuální | 5 | 10 | 149,2 | 129 | 160 |
| | 6 | 10 | 130,5 | 115 | 153 |
| | 7 | 10 | 163,9 | 145 | 176 |
| | 8 | 10 | 152,1 | 139 | 168 |
| Navrhovaný | 13 | 10 | 132,1 | 111 | 160 |
| | 14 | 10 | 124,9 | 111 | 142 |
| | 15 | 10 | 136,3 | 121 | 172 |
| | 16 | 10 | 150,9 | 126 | 167 |

9.7 Hodnocení přilnavosti nátěru

9.7.1 Odrhová zkouška přilnavosti

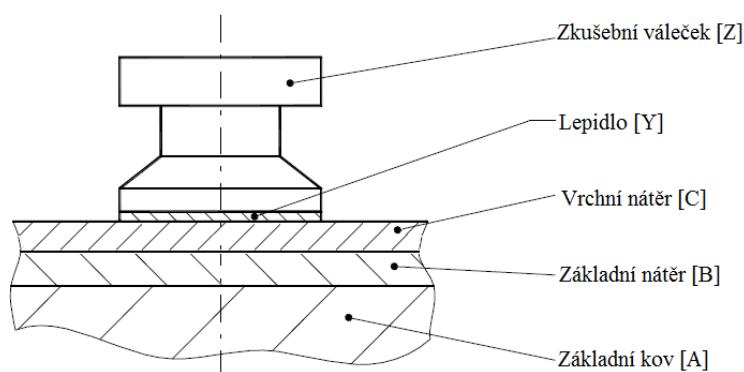
Odrhová destruktivní zkouška přilnavosti nátěru byla provedena dle specifikace v normě ČSN EN ISO 16276-1. Princip je založen na odtrhu tělíska přilepeného k dostatečně vytvrzenému nátěrovému filmu. Posuzován je parametr přilnavosti, neboli adheze mezi základním materiálem a nátěrovým povlakem, či mezi vrstvami tvořícími nátěrový systém. Druhým případem vzniku lomu je porušení kohézních sil ve vazbě držící povlak pohromadě. [26]

Každý vzorek natřeného plechu byl hodnocen pomocí 3 zkušebních tělísek. Tato tělíska označovaná jako panenky měli průměr 20 mm. Nejprve bylo nalepeno zkušební tělísko pomocí dvousložkového epoxidového lepidla Araldite s mísícím poměrem 1:1. Následně bylo lepidlo vytvrzeno po dobu minimálně potřebnou, a to 24 hod. Postup měření byl zahájen odřezáním okrajů vzorku až na základní kov nástrojem, jehož vnitřní průměr byl přijatelný pro těsné odřezání v blízkosti panenky. Následně se panenky odtrhly přístrojem Elcometer 506 uvedeným na obrázku 38. [26]









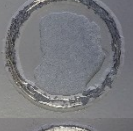


Obrázek 38: Odrhoměr Elcometer 506

Odrhová hlavice se nasadila na jednotlivé panenky a vyvozením tlaku hydraulickým převodem došlo k překonání pevnosti přilnutí tělíska. Z displeje se odečetla hodnota odtrhové pevnosti a vizuálně se zhodnotil charakter lomu v odtržené ploše. Jeho posouzení bylo provedeno v souladu se schématem vrstev uvedeným na obrázku 39. Jednotlivý popis vrstev koresponduje s tabulkami 38 a 39, kde je vizuální pohled na charakter lomu a k němu přiřazená charakteristika lomu i s hodnotou odtrhové pevnosti. Poškození vzniklé mezi dvěma vrstvami je charakterizováno jako adhezní s označením obou vrstev oddělených lomítkem. Lom v jediné vrstvě je pak popsán jako kohezní se zaznačením písmena popisujícího poškozenou vrstvu. Ve všech případech jsou jednotlivé charakteristiky zaznačeny procentuálním zastoupením vztaženým k celé ploše odtrhu.




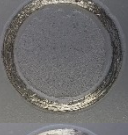

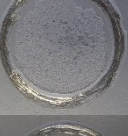
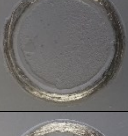

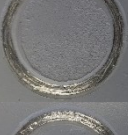
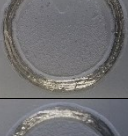




Obrázek 39: Schéma zkušebního uspořádání

Tabulka 38: Odtrhová zkouška na aktuálním stavu přípravy povrchu

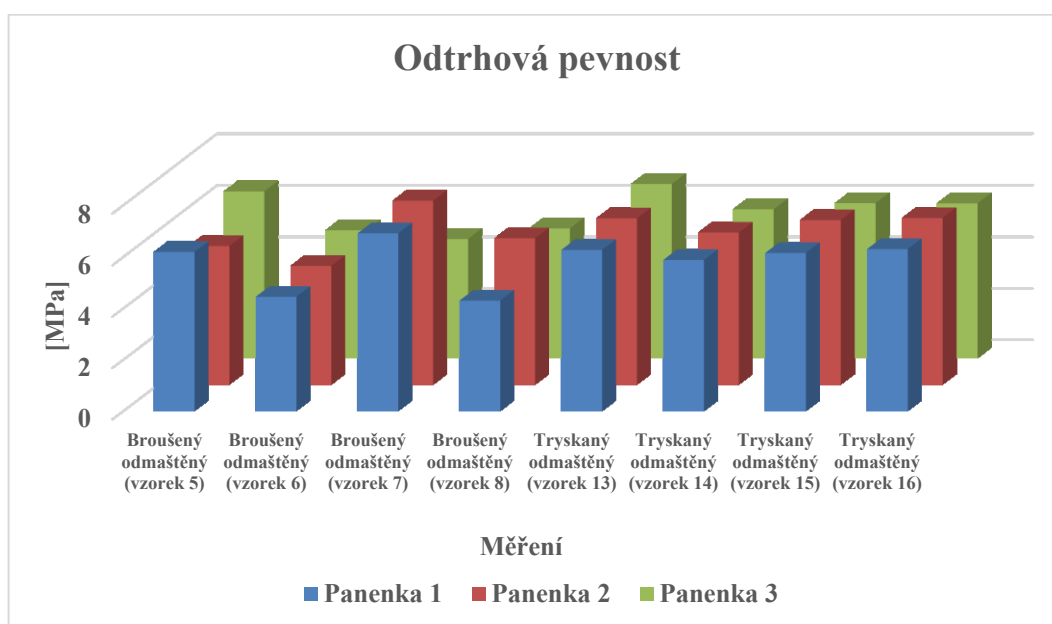
| Označení vzorku | Zkušební tělísko | Odpovídající vzhled charakteru lomu | Odtrhová síla [MPa] | Vyhodnocení charakteru lomu [%] | | | | | |
|-----------------|------------------|---|---------------------|---------------------------------|----|-----|---|-----|-----|
| | | | | A/B | B | B/C | C | C/Y | Y/Z |
| 5 | 1 |  | 6,20 | 60 | 35 | | | 5 | |
| 5 | 2 |  | 5,40 | 15 | 35 | | | 50 | |
| 5 | 3 |  | 6,48 | 20 | 10 | | | 70 | |
| 6 | 1 |  | 4,46 | 70 | 30 | | | | |
| 6 | 2 |  | 4,63 | 15 | 15 | | | 50 | 20 |
| 6 | 3 |  | 4,98 | 20 | 20 | | | 60 | |
| 7 | 1 |  | 6,92 | 25 | 75 | | | | |
| 7 | 2 |  | 7,15 | 15 | 45 | | | 40 | |
| 7 | 3 |  | 4,64 | 35 | 20 | | | 45 | |
| 8 | 1 |  | 4,31 | 70 | 30 | | | | |
| 8 | 2 |  | 5,7 | 50 | 50 | | | | |
| 8 | 3 |  | 5,05 | 40 | 60 | | | | |

Tabulka 39: Odtrhová zkouška na navrhovaném stavu přípravy povrchu

| Označení vzorku | Zkušební tělísko | Odpovídající vzhled charakteru lomu | Odtrhová síla [MPa] | Vyhodnocení charakteru lomu [%] | | | | | |
|-----------------|------------------|---|---------------------|---------------------------------|---|-----|----|-----|-----|
| | | | | A/B | B | B/C | C | C/Y | Y/Z |
| 13 | 1 |  | 6,28 | | | 45 | 40 | 15 | |
| 13 | 2 |  | 6,47 | 3 | | 37 | 55 | 5 | |
| 13 | 3 |  | 6,77 | 5 | | 35 | 40 | 10 | |
| 14 | 1 |  | 5,89 | 3 | | 55 | 27 | 15 | |
| 14 | 2 |  | 5,92 | 5 | | 60 | 34 | | |
| 14 | 3 |  | 5,79 | 15 | | 40 | 25 | 20 | |
| 15 | 1 |  | 6,16 | 2 | | 55 | 28 | 15 | |
| 15 | 2 |  | 6,40 | | | 35 | 50 | 15 | |
| 15 | 3 |  | 6,03 | 2 | | 48 | 40 | 10 | |
| 16 | 1 |  | 6,31 | | | 45 | 35 | 20 | |
| 16 | 2 |  | 6,48 | | | 40 | 50 | 10 | |
| 16 | 3 |  | 6,02 | | | 35 | 45 | 20 | |

Z následujícího grafu 3 jsou patrná mírná kolísání odtrhové pevnosti na broušených vzorcích, kde byly na vzorku 6 a 8 hodnoty zhruba o 1 MPa nižší. Dle charakteru lomu však nelze najít přesné pravidlo snížení odtrhové pevnosti. U broušených vzorků docházelo především k adheznímu lomu mezi povrchem materiálu a základním nátěrem. Tento jev lze přiřadit nedostatečné úpravě povrchu s nepříznivým výsledkem, protože je odstraněn základní nátěr a kovový materiál není nijak chráněn. Současně docházelo ke kohéznímu lomu v základní nátěrové hmotě, což vzhledem k otryskané sérii nelze přesně přiřadit k nedostatečné soudružnosti nátěrové hmoty. Adhezní lom vrstvy lepidla od vrchního nátěru ukazuje na nedostatečnou soudružnost vzniklou špatnou předúpravou povrchu před započítáním lepení panenek, nebo slabou vrstvou lepidla nezajišťující pokrytí celé kontaktní plochy. Tento jev lze částečně označit jako chybu měření.

U otryskané série vzorků je prokazatelná lepší adhezní soudružnost kovového materiálu a základního nátěru. K adheznímu lomu docházelo až mezi základním a vrchním nátěrem. Na stejné úrovni zastoupení pak byl kohezní lom ve vrchním nátěru. Z výsledků lze jednoznačně určit zlepšení povrchové ochrany nátěru, protože je kovový materiál chráněn alespoň základním nátěrem. Zastoupení adhezního lomu na hranici vrchního nátěru a lepidla je zde zaznamenáno pouze třikrát v 20% rozsahu, ale tato mez je dle normy ČSN EN ISO 16276-1 ještě přijatelná. Výsledky jsou na počty panenek ustálenější, což lze popsat jako zlepšení díky rovnoměrnější úpravě povrchu.



Graf 3: Srovnání hodnot odtrhové pevnosti

9.7.2 Zkouška přilnavosti křížovým řezem



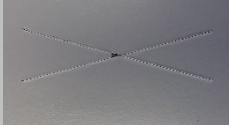




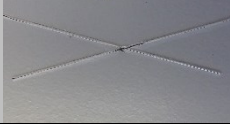
Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 16276-2. Princip se zakládá na dvojím vedení ostří nátěrovým povlakem s průsečíkem ve tvaru písmene X. Řezy se provedly pomocí šablony o délce řezu 40 mm se svírajícím vzájemným úhlem 30° . Na povrch se následně nalepila páska, která na sebe přilnula špatně zakotvený nátěrový film. Následně se kontinuální rychlostí a silou strhla pod úhlem 180° . Poté se na jednotlivých řezech hodnotil stupeň odlupování. [27]











Obrázek 40: Prořezávací nůž, šablona a snímací páska na provedení zkoušky křížovým řezem

Výsledkem je číselné hodnocení dle obrazových vzorů normy pozorovaného poškození. Odpovídající vzhled po strhnutí pásky s vyhodnoceným stupněm je uveden v následujících tabulkách 40 a 41. Všechny zjištěné stupně byly posouzeny jako nízké a vyhovující. Některé vzorky nevykazovali žádné stopy odlupování, nebo odpadávání nátěru a některé pouze velmi malé odlupování podél řezů či v jejich průsečíku. Mezistupeň oddělený lomítkem znamená žádné odlupování podél řezů, avšak s patrným malým náznakem odlupování v průsečíku vedených řezů. Kategoricky zde nelze vyvodit rozdíl mezi aktuální a navrhovanou předúpravou povrchu.

Tabulka 40: Hodnocení stupně odlupování na aktuálním stavu přípravy povrchu

| Označení vzorku | Řez | Odpovídající vzhled po odtržení pásky | Hodnocení stupně odlupování |
|-----------------|-----|---|-----------------------------|
| 5 | 1 |  | 1 |
| 5 | 2 |  | 0/1 |
| 6 | 1 |  | 1 |
| 6 | 2 |  | 1 |
| 7 | 1 |  | 0 |
| 7 | 2 |  | 0/1 |
| 8 | 1 |  | 1 |
| 8 | 2 |  | 1 |

Tabulka 41: Hodnocení stupně odlupování na navrhovaném stavu přípravy povrchu

| Označení vzorku | Řez | Odpovídající vzhled po odtržení pásky | Hodnocení stupně odlupování |
|-----------------|-----|---|-----------------------------|
| 13 | 1 |  | 1 |
| 13 | 2 |  | 1 |
| 14 | 1 |  | 0/1 |
| 14 | 2 |  | 1 |
| 15 | 1 |  | 0/1 |
| 15 | 2 |  | 1 |
| 16 | 1 |  | 0 |
| 16 | 2 |  | 1 |

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá hodnocením provedení současné protikorozi ochrany na ocelové konstrukci. Opomíjením nedostatků bylo vytvořeno navrhované řešení, které spočívalo v otryskávání povrchu na stupeň čistoty Sa 2^{1/2} před nanesením nátěru. Z provedených experimentů jdou vysledovat jistá zlepšení chování nátěrového povlaku při proporcionálně jiné přípravě povrchu před aplikováním nátěru. Lepších výsledků bylo dosaženo u otryskávaných vzorků především v oblasti posouzení charakteru lomu při hodnocení odtrhové pevnosti. Zjištěné nedostatky však nejsou zásadním problémem, pokud se bude předpokládat pouze nízká životnost a expozice v korozních podmínkách C3.

V teoretické části se zabírám problematikou jednotlivých druhů korozního napadení, kde jsem se zaměřil na mechanismus atmosférické koroze. Proto došlo ke konkrétnímu definování agresivních složek atmosféry, které při vysokém stupni koncentrace značně urychlují korozní děj. V této kapitole je dle norem uveden přehled stupňů korozní agresivity a map s popisem korozních rychlostí. Další velká kapitola je věnována přípravě povrchu před aplikací nátěru. Především dle specifikací norem je zde zpracován přehled věnující se znečištění povrchu a jednotlivých povrchových předúprav vztažených ke konkrétní výrobě. Třetí kapitola pojednává o chránění povrchu nátěrovými systémy. Řeší jednotlivé složky nátěrových hmot a možnosti jejich aplikace. Ve čtvrté kapitole je ve stručnosti uveden popis svařování ocelové konstrukce a kompletace modulu.

Experimentální část je zahájena definicí cílů práce, kde postupným řešením experimentů vyplynuly potřeby důkladnějšího provedení povrchových předúprav. Zacíleno bylo na dodržení normou stanovených požadavků opracování povrchu, z čehož vyplynul navrhovaný stav otryskávání před aplikací nátěru. Zhodnocením dle ustanovení norem vyšly najevo nedostatky v profilu povrchu, zaprášení povrchu, nepřípustnosti v provedení povrchu svarů. Proto by měla práce sloužit jako doporučení vedoucí k postupnému revidování pracovních postupů povrchových úprav. Další část práce popisuje pracovní postupy lakování konstrukcí s definicí předpisů. Zkušební vzorky jsou materiálově shodné s výrobou konstrukcí. K posouzení přípravy povrchu a nátěrového systému byly vytvořeny 2 odlišné skupiny vzorků v podobě plechů a svařenců. Zde jsou uvedeny jejich materiálové parametry a konkrétní technologické postupy vedoucí k dosažení jednotlivých stavů vzorků.

Ověření kotevního povrchu bylo zahájeno měřením drsnosti. Kontrolní měření byla provedena na odmaštěném a lehce přebroušeném ocelovém a otryskaném povrchu plechu. Zjištěné výsledky potvrdily nedostatečnou drsnost profilu bez zařazení otryskávání. Drsnost otryskaného povrchu byla o 15 μm nižší, než doporučuje ČSN EN ISO 12 944-4 definující Rz rovno 60 – 100 μm s přípustnou 10 μm tolerancí.

Zhodnocením povrchu pod zvětšením byly zjištěny nedostatky čistoty povrchu plechů a provedení svarů. Potvrdilo se tvrzení o pokrytí povrchu okují. Vhodný povrch pro následnou aplikaci nátěrového systému specifikuje norma ČSN EN ISO 12 944-5 jako tryskání stupně Sa 2^{1/2}. V normě ČSN EN ISO 8501-1 je tento stupeň definován jako oproštění od veškerých okují a rzi. Na provedených svarech byly zjištěny defekty z části neslučitelné s požadavky normy ČSN EN ISO 8501-3. Proto jsem provedl současně hodnocení stupně přípravy svarů a v tabulkách 29 a 30 je postavil kritériu P2. Zařazením otryskávání na svařencích byly plně odstraněny strusky a částečně rozstřík, kde měly jeho pozůstatky pro povrchovou úpravu přijatelný tvar.

Zhodnocením zaprášení povrchu metodou lepicí pásky bylo zjištěno především špatné čistoty v okolí svarů u současného postupu předúpravy. Otryskáváním byl povrch svaru a jeho okolí očištěn na čistotu prostého povrchu plechu. Měření bylo provedeno za účelem účinnosti předúpravy povrchu, kde jsou i použitím současného postupu viditelná značná zlepšení oproti výchozímu stavu. Hodnocení povrchového napětí pomocí inkoustu s parametrem 38 mN/m bylo vyhovující u každé předúpravy povrchu. Povrch nevykazoval nevhodnosti k následné aplikaci nátěru.

Základní ověření nátěrového systému bylo provedeno pouze na vzorcích plechů a bylo zahájeno ověřením suché tloušťky nátěru. Dle definice tloušťky suchého povlaku 120 μm v normě ČSN EN ISO 12 944-5 obstály všechny lakované plechy. Všechny průměrné hodnoty byly nad spodními limity a nejnižší náměr vyhověl 80% toleranci. Dále byly vzorky hodnoceny vzhledem k přilnavosti nátěru pomocí odtrhování panenek. Změřili se pevnosti přilnutí tělísek, které se významně nelišily, a vyhodnotil se charakter lomu. Z charakteru lomu vyšly jednoznačně lépe vzorky s otryskaným povrchem, protože k lomu docházelo o vrstvu dále od základního materiálu, který zůstal déle chráněn. Z provedené zkoušky přilnavosti křížovým řezem pomocí pásky nevyplynuly žádné kategorické rozdíly a hodnoty byly vyhodnoceny jako dostatečné.

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Renému Siostrzonkovi, Ph.D., za možnost provedení experimentálních zkoušek, poskytnutí cenných rad a času věnovanému konzultacím. Dále bych rád poděkoval společnosti Touax s.r.o., ve které pracuji, za svěření problematiky povrchových úprav ocelových konstrukcí a poskytnutí vzorků na provedení experimentu.

Bc. Jan Horák

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1217-7.
- [2] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1994. ISBN 80-7078-235-8.
- [3] ŠULC, Radek. *VII. Koroze* [online]. Praha: Ústav procesní a zpracovatelské techniky FS ČVUT v Praze, 2008. [cit. 2017-2-10]. Dostupné z: http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_pre dn13-Ko.pdf
- [4] BARDAL, Einar. *Corrosion and protection*. New York: Springer, 2004. ISBN 1-85233-758-3.
- [5] GEIPLOVÁ, Hana. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí* [online]. Praha: SVÚOM . [cit. 2017-3-20]. Dostupné z: <http://www.izolplastik.cz/files/download/seminare-2013/vyuziti-ons-pri-defektech-na-sloupech-vo-ok-a-plechovych-strechach.pdf/>
- [6] ČSN EN ISO 12944-2: *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí*. Český normalizační institut, Praha, 1998, 16 s.
- [7] ČSN EN ISO 9223: *Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosfér – Klasifikace, stanovení a odhad*. Český normalizační institut, Praha, 2012, 20 s.
- [8] KREISLOVÁ, K., GEIPLOVÁ, H., SKOŘEPOVÁ, I., SKOŘEPA, J., MAJTÁS, D., *Nové mapy korozní agresivity České republiky* [online]. [cit. 2017-3-24]. Dostupné z: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/kom.2015.59.issue-3/kom-2015-0019/kom-2015-0019.pdf>
- [9] ČSN EN ISO 8501-1: *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků-Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu-Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Český normalizační institut, Praha, 2007, 16 s.
- [10] ČSN EN ISO 12944-4: *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 4: Typy povrchů podkladů a jejich příprava*. Český normalizační institut, Praha, 1998, 30 s.

- [11] ČSN EN ISO 8501-3: *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků-Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu-Část 3: Stupně přípravy svarů, hran a ostatních ploch s povrchovými vadami*. Český normalizační institut, Praha, 2008, 12 s.
- [12] KREIBICH, Viktor, KUDLÁČEK, Jan. *Kvalita povrchu ocelových výrobků* [online]. Povrcháři, 2012 [cit. 2017-3-26] Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201203_povrchari.pdf
- [13] ČSN EN ISO 8504-1: *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Metody přípravy povrchu - Část 1: Obecné zásady*. Český normalizační institut, Praha, 2002, 16 s.
- [14] ČSN EN ISO 8504-2: *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Metody přípravy povrchu - Část 2: Otryskávání*. Český normalizační institut, Praha, 2002, 24 s.
- [15] ČSN EN ISO 8503-1: *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů - Část 1: Specifikace a definice pro hodnocení otryskaných povrchů s pomocí ISO komparátorů profilu povrchu*. Český normalizační institut, Praha, 2012, 16 s.
- [16] ČSN EN ISO 12944-1: *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 1: Obecné zásady*. Český normalizační institut, Praha, 1998, 12 s.
- [17] ČSN EN ISO 12944-3: *Nátěrové hmoty – protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 3: Navrhování*. Český normalizační institut, Praha, 1999, 20 s.
- [18] ČSN EN ISO 12944-5: *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 5: Ochranné nátěrové systémy*. Český normalizační institut, Praha, 2008, 36 s.
- [19] ČSN EN ISO 12944-7: *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 7: Provádění a dozor při zhotovování nátěrů*. Český normalizační institut, Praha, 1999, 16 s.
- [20] Touax CZ: *Reference* [online]. [cit. 2017-30-4]. Dostupné z: <http://www.touax.cz/cs/local-references>
- [21] *Technologický postup pro povrchovou úpravu obytných a přepravních kontejnerů*. Colorlak, Staré Město, 2012, 6 s.

- [22] *Technický list Jokisch LB 100* [online]. [cit. 2017-30-4]. Dostupné z:
<http://www.tradeweld.cz/cze/produkty/mig-spraye-a-separacni-kapaliny-jokisch/>
- [23] *Katalogový list S 2212 ZINOREX PRIMER* [online]. [cit. 2017-16-4]. Dostupné z:
https://www.colorlak.cz/wp-content/import/www/data/kl_/s2212_/cz_S2212.pdf
- [24] *Katalogový list U 2218 AXAPUR BÁZE* [online]. [cit. 2017-16-4]. Dostupné z:
https://www.colorlak.cz/wp-content/import/www/data/kl_/u2218_/cz_U2218-BP.pdf
- [25] ČSN ISO 8502-3: *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepící páskou)*. Český normalizační institut, Praha, 1996, 12 s.
- [26] ČSN EN ISO 16276-1: *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 1: Odtrhová zkouška*. Český normalizační institut, Praha, 2008, 16 s.
- [27] ČSN EN ISO 16276-2: *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Český normalizační institut, Praha, 2008, 16 s.

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Faktory atmosférické koroze | 12 |
| Obrázek 2: Korozní rychlost uhlíkové oceli za rok 2001 [$\text{g} \cdot \text{m}^2/\text{rok}$] | 16 |
| Obrázek 3: Realizace zázemí sportoviště v Jeseníku | 38 |
| Obrázek 4: Výstavba mateřské školy v Poříčanech | 39 |
| Obrázek 5: Administrativní zázemí jaderné elektrárny Mochovce | 39 |
| Obrázek 6: Technologické zázemí bioplynové stanice Pustějov | 40 |
| Obrázek 7: Zázemí staveniště společnosti Strabag | 40 |
| Obrázek 8: Ocelová konstrukce rámu | 41 |
| Obrázek 9: Schéma ocelové konstrukce | 41 |
| Obrázek 10: Základní typ modulové jednotky | 44 |
| Obrázek 11: Proces tmelení ocelové konstrukce | 47 |
| Obrázek 12: Pístové vzduchem poháněné vysokotlakové airless zařízení | 48 |
| Obrázek 13: Vytvrzovací fáze vrchního nátěru odstínu RAL 7040 | 49 |
| Obrázek 14: Schéma svařeného vzorku | 52 |
| Obrázek 15: Lakovaný svařený vzorek | 52 |
| Obrázek 16 a 17: Výchozí stav plechu a svařence | 56 |
| Obrázek 18 a 19: Upravený stav plechu a svařence | 56 |
| Obrázek 20 a 21: Lakovaný stav plechu a svařence | 58 |
| Obrázek 22 a 23: Tryskaný stav plechu a svařence | 59 |
| Obrázek 24 a 25: Tryskaný, odmaštěný stav plechu a svařence | 60 |
| Obrázek 26 a 27: Tryskaný, odmaštěný stav plechu a svařence | 61 |
| Obrázek 28: Měřicí sonda na odečet hodnoty drsnosti | 56 |
| Obrázek 29: Schéma se směry prováděného měření na ocelovém plechu | 62 |
| Obrázek 30: Povrch vzorku 3 zhotoveného aktuálním postupem předúpravy | 66 |
| Obrázek 31 a 32: Povrch vzorku 9 po otryskání a vzorku 12 po ofoukání a odmaštění | 67 |
| Obrázek 33 a 34: Povrch svaru vzorku 2 s přechodem na základní materiál ihned po svaření a povrch svaru vzorku 3 u aktuálně prováděné předúpravy | 67 |
| Obrázek 35 a 36: Povrch svaru vzorku 10 s přechodem na základní materiál po otryskání a povrch svaru vzorku 11 s ofukem a odmaštěním | 68 |
| Obrázek 37: Tloušťkoměr Elcometer 456 | 77 |
| Obrázek 38: Odtrhoměr Elcometer 506 | 78 |
| Obrázek 39: Schéma zkušebního uspořádání | 79 |
| Obrázek 40: Prořezávací nůž, šablona a snímací páska na provedení zkoušky křížovým řezem | 83 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Přehled tloušťkových korozních úbytků dle kategorií za roční expozici | 15 |
| Tabulka 2: Definice stupňů zarezavění | 19 |
| Tabulka 3: Standardy stupňů přípravy pro celkovou přípravu povrchu | 20 |
| Tabulka 4: Stupně přípravy ocelových povrchů s viditelnými vadami vhodné pro nanášení nátěru a dalších produktů | 21 |
| Tabulka 5: Symbolika označování základních tryskacích materiálů | 24 |
| Tabulka 6: Přehled vybraných technologií otryskávání | 24 |
| Tabulka 7: Hodnocení stupně drsnosti | 25 |
| Tabulka 8: Zrnitosti brusných elementů dle jednotlivých operací | 27 |
| Tabulka 9: Životnost nátěrového systému | 30 |
| Tabulka 10: Obsah VOC látek v různých generických typech pojiv nátěrových hmot | 33 |
| Tabulka 11: Zhodnocení nanášení nátěrů dílenským způsobem | 34 |
| Tabulka 12: Chemické složení oceli S355MC | 53 |
| Tabulka 13: Mechanické vlastnosti oceli S355MC | 53 |
| Tabulka 14: Chemické složení oceli S235JR+AR | 54 |
| Tabulka 15: Mechanické vlastnosti oceli S235JR+AR | 54 |
| Tabulka 16: Označení vzorků pro experimentální část | 54 |
| Tabulka 17: Parametry vstupního tryskání | 55 |
| Tabulka 18: Parametry lakovacího zařízení | 57 |
| Tabulka 19: Klimatické podmínky aplikace nátěrového systému | 57 |
| Tabulka 20: Vlastnosti základní nátěrové hmoty | 58 |
| Tabulka 21: Vlastnosti vrchní nátěrové hmoty | 58 |
| Tabulka 22: Parametry výstupního tryskání | 59 |
| Tabulka 23: Klimatické podmínky aplikace nátěrového systému | 61 |
| Tabulka 24: Nastavení přístroje pro měření povrchu válcovaného plechu | 63 |
| Tabulka 25: Drsnost profilu broušeného odmaštěného plechu | 63 |
| Tabulka 26: Nastavení přístroje pro měření povrchu otryskaného plechu | 63 |
| Tabulka 27: Drsnost profilu tryskaného plechu | 64 |
| Tabulka 28: Drsnost profilu tryskaného, ofoukaného a odmaštěného plechu | 64 |
| Tabulka 29: Přípustnost rozstříku povrchu pro stupeň přípravy P2 | 69 |
| Tabulka 30: Přípustnost ostatních vad povrchu pro stupeň přípravy P2 | 70 |
| Tabulka 31: Hodnocení zaprášení povrchu plechů výchozího stavu a stavu po aktuálním očištění a lehkém přebroušení | 71 |
| Tabulka 32: Hodnocení zaprášení povrchu plechů otryskaného stavu a jeho stavu po ofoukání a odmaštění | 72 |
| Tabulka 33: Hodnocení zaprášení povrchu svařence výchozího stavu a stavu po aktuálním očištění a lehkém přebroušení | 73 |
| Tabulka 34: Hodnocení zaprášení povrchu svařence otryskaného stavu a jeho stavu po ofoukání a odmaštění | 74 |
| Tabulka 35: Hodnocení povrchového napětí plechů | 75 |
| Tabulka 36: Hodnocení povrchového napětí svařenců | 76 |
| Tabulka 37: Hodnoty měření suché tloušťky nátěru | 77 |
| Tabulka 38: Odtrhová zkouška na aktuálním stavu přípravy povrchu | 80 |
| Tabulka 39: Odtrhová zkouška na navrhovaném stavu přípravy povrchu | 81 |
| Tabulka 40: Hodnocení stupně odlupování na aktuálním stavu přípravy povrchu | 84 |
| Tabulka 41: Hodnocení stupně odlupování na navrhovaném stavu přípravy povrchu | 85 |

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|--|----|
| Graf 1: Srovnání Ra jednotlivých vzorků | 65 |
| Graf 2: Srovnání Rz jednotlivých vzorků | 65 |
| Graf 3: Srovnání hodnot odtrhové pevnosti..... | 82 |